

Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

Edició a cura de Josep Enric Llebot



**Generalitat
de Catalunya**



**Institut
d'Estudis
Catalans**

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP

Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

Bibliografia

ISBN 9788499650272 (IEC). — ISBN 9788439386155 (Generalitat de Catalunya)

I. Llebot, Josep Enric, 1953- ed. II. Catalunya. Generalitat III. Institut d'Estudis Catalans

IV. Títol: Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

1. Canvis climàtics — Catalunya 2. Gestió ambiental — Catalunya

551.58(467.1)



Aquesta publicació ha estat possible gràcies a la col·laboració de l'Obra Social de "la Caixa"

Fotografia de la coberta: Carme Puchol

© Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya, Departament de la Vicepresidència,
Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya

Primera edició: desembre de 2010

Tiratge: 750 exemplars

Compost per Anglofort, SA.

Imprès a S.A. de Litografia

ISBN (Institut d'Estudis Catalans): 978-84-9965-027-2

ISBN (Generalitat de Catalunya): 978-84-393-8615-5

Dipòsit Legal: B. 44160-2010



Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de la llicència pública de *Creative Commons*. Es pot redistribuir, copiar i reutilitzar, sempre que no hi hagi afany de lucre i que s'hi facin constar els autors.

Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/es/legalcode.ca>.

Índex

Presentació	5

Introducció	7

1a part. Bases científiques del canvi climàtic

1. Els climes de Catalunya. El passat <i>Isabel Cacho</i>	13
2. Els climes de Catalunya. Present i tendències recents <i>Javier Martín-Vide, Manola Brunet, Marc Prohom i Anna Rius</i>	39
3. El balanç global de carboni antropogènic <i>Josep Canadell i Gili</i>	73
4. Balanços de carboni. Emissions <i>José María Baldasano i Albert Soret</i>	97
5. Embornals <i>Carles Gràcia</i>	135
6. Projeccions i escenaris de futur <i>Josep Calbó Angrill, Arturo Sánchez-Lorenzo, Jordi Cunillera i Antoni Barrera-Escoda</i>	183

2a part. Impactes i vulnerabilitat del medi biofísic

7. Riscos associats al clima <i>Maria del Carme Llasat i Jordi Corominas</i>	243
8. Vulnerabilitat territorial dels recursos hidrològics al canvi climàtic <i>Josep Mas-Pla</i>	309
9. La variabilitat climàtica i la costa catalana <i>Agustín Sánchez-Arcilla, Cesar Mössö, Joan Pau Sierra i Mercè Casas Prat</i>	343
10. Impactes, vulnerabilitat i retroalimentacions climàtiques als ecosistemes terrestres catalans <i>Josep Peñuelas, Iolanda Filella, Marc Estiarte, Romà Ogaya, Joan Llusà, Jordi Sardans, Alistair Jump, Jorge Curiel, Jofre Carnicer, This Rutishauser, Laura Rico, Trevor Keenan, Martín Garbulsky, Marta Coll, Maria Díaz de Quijano, Roger Seco, Albert Rivas-Ubach, Jorge Silva, Martí Boada, Constantí Stefanescu, Francisco Lloret i Jaume Terradas</i>	373

11. Sistemes naturals i diversitat biològica: sòls <i>Josep Maria Alcañiz, Jaume Boixadera, Maria Teresa Felipó, Josep Oriol Ortiz i Rosa Maria Poch</i>	409
12. Ecosistemes marins <i>Rafel Simó, Eva Calvo, Carles Pelejero, Marta Ribes i Josep Pascual</i>	469

3a part. Anàlisi sectorial: gestió, mitigació i adaptació

13. La negociació internacional del canvi climàtic <i>Miquel Muñoz</i>	503
14. Els aspectes legals de la lluita contra el canvi climàtic <i>Isabel Pont i Castejón, Mar Campins Eritja i Juan Emilio Nieto Moreno</i>	547
15. Eines de gestió del canvi climàtic <i>Esteve Corbera i Ismael Romeo</i>	621
16. Agricultura, ramaderia i silvicultura <i>M. T. Sebastià, Rosa Llurba, Josefina Plaixats, Glòria Domínguez i Jaume Lloveras</i>	677
17. Energia <i>Joaquim Corominas</i>	761
18. Indústria <i>Ramon Garriga</i>	803
19. El turisme <i>David Saurí i Joan Carles Llurdés</i>	835
20. Residus <i>Xavier Gabarrell, Isabel Escaler, Xavier Font, Anna Massagué i Joan Rieradevall</i>	873
21. Salut <i>Josep Miquel Raso</i>	909
22. Percepció i comunicació del canvi climàtic a Catalunya <i>Joan David Tàbara</i>	973
23. Transport, mobilitat i logística <i>Francesc Robusté i Miquel Àngel Estrada</i>	1011
24. Canvi climàtic: territori, urbanisme i edificació. Nous models (més) sostenibles <i>Manuel Gausa (coordinador)</i>	1057

4a part. La recerca sobre el canvi climàtic a Catalunya

25. La recerca sobre el canvi climàtic <i>Josep Enric Llebot</i>	1121

Presentació

Presentar un informe d'aquestes característiques i dimensions és un clar reflex del compromís d'aquest Govern per prioritzar una estratègia catalana de sostenibilitat en la tasca de mitigació i adaptació al canvi climàtic. I també ho és per la tasca que el Consell Assessor del Desenvolupament Sostenible (CADS) ha desenvolupat aquesta legislatura en estimular i promoure, des de l'expertesa, el coneixement i la consciència en l'àmbit de la sostenibilitat. En el cas d'aquest informe cal reconèixer també el treball efectuat per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, el Servei Meteorològic de Catalunya i l'Institut d'Estudis Catalans, així com la col·laboració de la Fundació La Caixa.

Vull destacar la tasca perseverant de tots aquests organismes implicats en l'elaboració d'aquest informe a l'hora de donar continuïtat a un projecte científic i d'expertesa. Un projecte que és una eina útil, fins i tot imprescindible, per seguir incorporant en les polítiques del Govern la qüestió de l'escalfament global. No oblidem que el *Primer Informe sobre Canvi Climàtic a Catalunya*, presentat l'any 2005, fou pioner a l'Estat en aquesta matèria. I vull subratllar també, en relació amb els continguts de l'Informe, un tret de caire més tècnic, com és la qualitat metodològica del procés d'elaboració, el qual pot esdevenir un treball de referència en l'anàlisi regional del canvi climàtic.

Com deïem, aquest Govern ha apostat decididament perquè Catalunya disposi d'una estratègia pròpia en les polítiques de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic. La complexitat que suposa abordar les actuacions en aquesta matèria fa necessari el poder disposar d'un instrument per poder traçar l'estratègia. L'Informe que ara presentem es conforma com l'eina

imprescindible per poder elaborar aquesta estratègia pròpia, catalana, en la lluita contra el canvi climàtic. Avui sabem que només coneixent les prediccions climàtiques per als propers anys, els impactes sobre el medi físic i el comportament dels diferents sectors econòmics, podrem actuar de manera efectiva i coherent a Catalunya partint d'una estratègia feta des d'aquí i per a aquí. I aquest és el coneixement que ens ofereix aquest *Segon Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*.

Ens cal per tant, en primer lloc, seguir dissenyant una estratègia pròpia contra l'escalfament global perquè ja tothom reconeix que la qüestió del canvi climàtic es una qüestió «glocal», amb causes globals i impactes locals. En aquest sentit, la diagnosi a escala regional, i al seu torn, les actuacions a nivell territorial són fonamentals per a l'efectiva lluita contra l'escalfament global. Val a dir que el reconeixement del paper dels governs subestats tant en el plantejament com en la resolució en termes d'adaptació i mitigació de l'impacte del canvi climàtic ha estat expressat i recollit per Nacions Unides recentment en la Cimera de Copenhagen. De fet, la participació del Govern en organismes i xarxes regionals com el *Climate Group* o la *Nrg4SD* (Xarxa de Govern Regionals per al Desenvolupament Sostenible) va ser decisiva per impulsar l'esmena catalana on es reivindicava aquest paper estratègic dels governs subestats en les actuacions en matèria d'escalfament global.

En segon lloc cal remarcar que les diferents actuacions del Govern en aquesta matèria s'han fet des del compromís polític i públic. Parafrasejant Nicholas Stern, quan aquest afirma en relació al canvi climàtic que és «la fallada de mercat més gran que el món ha vist mai» ens

trasllada automàticament a la rellevància de l'actuació pública en la qüestió de l'escalfament global. La contundència que el mercat falla es fa evident en el moment actual en el marc de la crisi econòmica mundial. I que falla ambientalment també fa temps que ho sabem, i si bé el seu impacte és més difús i espatiat temporalment, això no evita que aquesta fallada sigui menys contundent. És en aquest buit que deixa el mercat que els poders públics han d'actuar, i així ho ha fet aquest Govern. I ho hem fet amb mirada llarga, recolzats en la tasca d'assessorament del CADS com posa de manifest aquest segon Informe. De fet s'han adoptat decisions rellevants que han anat conformant aquesta estratègia catalana que com a tal supera el cicle polític, actuacions que s'han emmarcat tant en el camp de la sostenibilitat, amb l'aprovació del Pla de Mitigació del Canvi Climàtic 2008-12 i la creació del centre de recerca IC3 (Institut Català de Ciències del Clima), com en l'energètic, amb l'aprovació del Decret d'Energies Renovables, la creació l'Institut de Recerca en Energia de Catalunya, i la revisió del Pla de l'Energia de Catalunya 2006-15.

I totes aquestes actuacions queden ara integrades sota el paraigua de l'*Estratègia de Desenvolupament Sostenible de Catalunya* aprovada recentment. El fet que el canvi climàtic depassi l'àmbit ambiental i entri directament en el terreny econòmic obliga a adoptar una nova cultura econòmica en relació amb el model de consum i producció i la seva intersecció amb l'entorn físic. La necessària internalització dels costos ambientals en el model socioeconòmic ha portat al Govern a elaborar aquesta Estratègia en l'horitzó del 2026. Aquesta proposta pretén dur a terme la transició cap a un model econòmic on quedi incorporada la sostenibi-

litat, de manera que aquesta esdevingui fins i tot un estímul de la innovació i el creixement econòmic.

En definitiva, aquest Informe és una eina més i ens proveeix de la mirada llarga, reflexiva, que li cal al Govern per dur a terme aquelles actuacions per avançar en el camí d'una Catalunya més sostenible. Perquè la tasca que ara ens toca, un cop superada la fase de la constatació científica i la consciència social que el canvi climàtic és ja un fet inqüestionable, és reduir el fossar que separa el coneixement i el reconeixement del canvi climàtic de l'acció. Acció que ha quedat àmpliament demostrada amb les diferents iniciatives adoptades i que responen al compromís del Govern en una actuació ferma en matèria de sostenibilitat.

I hem adoptat aquest compromís de desenvolupar una estratègia pròpia de lluita contra el canvi climàtic per diferents motius. En primer lloc perquè és obvi que la necessitem. Necessitem avançar en un camp que ja ha estat oblidat durant prou temps, des de la consciència i responsabilitat que ja no podem esperar més. En segon lloc perquè la volem, des de la convicció que una economia més sostenible i més respectuosa amb el nostre entorn és possible i compatible amb el benestar. I per últim, ens impliquem amb aquesta estratègia perquè podem, perquè des de Catalunya tenim capacitat d'incidència en aspectes directament relacionats amb l'escalfament global com són l'eficiència energètica, la gestió de la demanda o l'impuls de les renovables entre d'altres. No hem volgut per tant renunciar a donar un tomb en la política ambiental de Catalunya.

Josep-Lluís Carod-Rovira
Vicepresident del Govern

Introducció

L'escalfament de l'atmosfera i els canvis que aquest escalfament pot produir sobre les condicions ambientals en què es desenvolupa la vida, l'anomenat canvi climàtic, ha esdevingut un problema de primer ordre en el món del segle XXI. Encara hi ha qüestions rellevants d'ordre científic per conèixer millor i per resoldre, però malgrat la sensació que hi ha a l'opinió pública d'un debat obert amb opinions divergents sobre l'existència del problema, en realitat hi ha un munt de proves que indiquen plenament que estem en un procés continu, pausat la majoria de les vegades, però sense aturador, de canvi de les condicions ambientals. És aquesta una situació amb què hem d'aprendre a conviure i que mostra que els humans hem assolit ja la capacitat d'intervenir en els patrons de funcionament de la Terra globalment, ja que localment fa molts segles que ho estem fent. Probablement, i sense que sigui una solució de llarg abast, allò que podem fer ara, i que ens costa molt, és incidir de forma substancial en el ritme en què pertorbem l'escalfament de l'atmosfera controlant els processos i les activitats que incideixen en l'abocament de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera. Els fets demostren que és una tasca complicada i, ara per ara, no hi ha un escenari gaire optimista en el futur pròxim, però els treballs del Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic de les Nacions Unides i de l'Organització Meteorològica Mundial (l'IPCC, segons l'acrònim en anglès) aporten una informació contrastada i consensuada sense la qual l'anàlisi de la problemàtica ambiental seria molt més difícil i, per tant, encara molt més complicada d'articular la discussió política.

Els informes que fa l'IPCC lògicament han evolucionat en els seus continguts amb el temps. Fins ara s'han publicat quatre informes,

el darrer l'any 2007, reflectint l'augment del coneixement que s'ha produït sobre el canvi climàtic i, el que també és important, assenyalant allò que encara no se sap o en els aspectes amb dèficits de coneixement. Mentre que les observacions i constatacions de molts dels impactes han anat creixent de forma molt significativa, els models afinen cada vegada més tancant, de mica en mica, les forquilles de les seves projeccions i mostrant com d'útil és disposar de visions i anàlisis repetides en el temps.

El canvi climàtic és un procés global que es dona arreu del món, però el tipus, la intensitat, fins i tot la seqüència dels canvis i de les seves conseqüències no és la mateixa arreu. Les anàlisis locals, en aquest context, tenen força importància. Des del punt de vista de les projeccions dels possibles efectes sobre els patrons atmosfèrics i del mar a escala local no es disposa encara d'eines que permetin fer projeccions prou fiables i una planificació prou acurada de les estratègies d'adaptació. D'altra banda, els nombrosos estudis meteorològics, oceanogràfics, edafològics, ecològics, de risc, etc., elaborats a escala local, ens mostren allò que està passant. És important, doncs, disposar de tota aquesta informació agregada per situar-la en el context internacional i, a la vegada, per tal de posar-la a disposició de les organitzacions, administracions i ciutadans en general per difondre el coneixement del problema i ajudar a actuar, cadascú en l'escala que li pertoqui.

L'administració catalana fa temps que va prendre consciència d'aquesta necessitat i va encarregar el 1r *informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* publicat l'any 2005 al qual segueix aquest 2n *informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* que es publica cinc anys més tard. És molt notable com l'Administració del nostre país, regida per grups de signes polítics diferents ha sabut cop-

sar, mantenir i augmentar l'interès per a la realització d'informes com el que ens ocupa.

Durant els cinc anys transcorreguts des del primer informe es pot observar i constatar un fet, altrament obvi: el nombre de persones coneixedores dels diferents aspectes que es tracten en l'anàlisi del canvi climàtic a Catalunya i que, per tant, participen a l'informe ha augmentat considerablement fruit del creixement de la comunitat d'experts a casa nostra com a conseqüència que els temes de canvi climàtic plantegen nombrosos problemes científics molt interessants d'estudiar, i també que concentren moltes demandes d'estudis per part de les entitats responsables o actives en la seva gestió. Les persones que han participat en el 2n informe són una mostra d'aquesta comunitat científica, cada vegada força més gran a casa nostra, cosa que es manifesta en el nombre creixent de grups de recerca i d'institucions subvencionades i creades durant el període de temps que ha transcorregut entre els dos informes. Malgrat que s'ha intentat involucrar el màxim nombre de persones expertes en els diferents àmbits del canvi climàtic en l'elaboració i la revisió dels textos n'hi ha hagut moltes que encara n'han quedat fora, la qual cosa dóna al treball una característica d'obra col·lectiva però que reflecteix únicament les opinions revisades i contrastades dels seus autors.

La metodologia per a l'elaboració del treball que el lector té a les seves mans també mostra que s'ha pretès que fos més contrastada d'allò que va ésser el 1r informe. L'elaboració del 2n informe sobre el canvi climàtic a Catalunya i la seva estructura fou aprovada per la Comissió Interdepartamental de Canvi Climàtic de la Generalitat de Catalunya. L'índex i el llistat d'autors va ser revisat i acordat per un Consell de seguiment format per representants de les entitats que han donat suport econòmic i logístic a l'elaboració de l'informe: per part de la Generalitat de Catalunya, el Departament de Medi Ambient i Habitatge, amb representants de la Direcció General de Polítiques Ambientals i Sostenibilitat, de l'Oficina Catalana del Canvi

Climàtic i del Servei Meteorològic de Catalunya; el Departament de Vicepresidència, que el presidia, amb representants del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, i l'Institut d'Estudis Catalans, representat per membres de la seves seccions de Ciències Biològiques i de Ciències i Tecnologia. A banda de la Comissió de seguiment, l'elaboració del treball ha comptat amb un Consell editor que ha anat debatent i fent el seguiment de l'elaboració dels treballs.

Cada capítol temàtic s'ha encarregat a una persona, amb llibertat completa per elegir el seu equip de col·laboradors. Per això hi ha capítols elaborats per una única persona i d'altres elaborats per grups de composició variable pel que fa a l'estructura i al nombre de persones col·laboradores. Un cop elaborada la primera versió, s'ha passat a revisió per parells anònims. S'ha intentat, encara que no sempre s'ha aconseguit, que fossin de fora de Catalunya, atès el requeriment que poguessin llegir i entendre el català. Posteriorment la primera versió fou retornada als autors juntament amb els comentaris dels revisors, que en tots els casos ha donat lloc a l'elaboració d'una segona versió definitiva. El procés físic d'edició ha comportat també una revisió lingüística i estilística.

L'informe s'estructura en quatre parts: 1) Bases científiques del canvi climàtic; 2) Impactes i vulnerabilitat del medi; 3) Anàlisi sectorial: gestió, mitigació i adaptació; 4) La recerca sobre el canvi climàtic a Catalunya. Com s'ha dit, des d'una perspectiva metodològica, el 2n Informe s'entreu com una aproximació a escala territorial dels escenaris de futur i les conseqüències del canvi climàtic. Una bona part de l'estudi té com a principal objectiu analitzar els impactes i les possibles mesures d'adaptació en diferents sectors d'activitat econòmica. Com el lector podrà comprovar, aquest apartat mostra heterogeneïtats en el tractament i l'avaluació del fenomen, ja que mentre alguns sectors tenen una llarga tradició i un bon coneixement de la incidència dels canvis ambientals en el seu funcionament, altres són en una situació més primària. L'informe conté també anàlisis globals, com el capítol de-

dicat als balanços de carboni, el dels processos relacionats amb les negociacions internacionals, i el que es refereix a les eines de gestió. Com en moltes altres ocasions, val a dir que els impactes del canvi climàtic o la repercussió del fenomen no sempre són els canvis dominants. A vegades els canvis socials, demogràfics, econòmics, tenen més importància en la dinàmica del canvi que els canvis ambientals. Hi ha un darrer apartat que es dedica a analitzar estructuralment (no nominal) la comunitat científica que dona suport al coneixement del canvi climàtic i la seva evolució durant els darrers anys.

Un treball d'aquesta magnitud no s'hauria pogut dur a terme sense la col·laboració de nombroses persones i institucions. Pel que fa a l'elaboració de l'informe he d'agrair als autors l'excel·lent disposició a participar en el projecte, ara realitat. L'elaboració d'un treball d'aquesta magnitud és feixuga i llarga, els terminis se'ns mengen, i el dia a dia ens persegueix. Tanmateix, tot i que amb alguns mesos de retard, aquest llibre veurà la llum no gaire més tard de quan estava previst, gràcies als autors (alguns, tot i que estaven en circumstàncies personals complicades, han complert bastant bé els terminis imposats) i als revisors que han col·laborat, en termes generals, amb rigor i diligència a millorar la qualitat del text. Els autors apareixen explícitament al text, però no els revisors, que s'inclouen a continuació, i als quals agraeixo molt sincerament la seva participació i col·laboració:

Enric Aguilar Anfrons, M. Àngels Alió, Ana Blázquez, Martí Boada, Gabriel Borràs, Alba Cabañas, Daniel Calatayud, Eva Calvo, Lucila Candela, Jordi Catalan, Marcel Coderch, Jordi Corominas, José M. Cuadrat Prats, Marta Estrada, M. Teresa Felipó, Josep Garriga, Luis Garrote, Salvador Giner, Belén Gómez Martín, Pedro Jimenez Guerrero, Joan Jorge, Louis Lemkow, Francisco Lloret, Manuel Ludevid, Javier Martín-Vide, Carme Miralles, Jorge Olcina Cantos, Giovanni Pardini, Carlos Pelejero, Alejandro Pérez Cueva, Manel Poch, José Quereda Sala, Jesús Ramos, M. Concepción Ramos Martín, Ferran Rodà, Onofre Rullán, Marc Sáez, Pedro

Sancho, Robert Save, Jordi Sunyer, Jaume Terradas, Ole Thorson, Pere Torres i Antoni Tulla.

Aquest treball s'ha dut a terme gràcies al fet que és una línia estratègica d'actuació del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, ens del qual tinc l'honor de formar-ne part com a conseller. Agraeixo al seu director, Ramon Arribas, el seu continu suport, ajut, ànim i capacitat de negociació. També agraeixo el suport tècnic del CADS, representat per Xavier Cazorla, sempre disponible per assessorar i donar valuosos consells tècnics i logístics, i per Joan Maria Romaní, que amb el seu treball, magnífic tracte i dedicació, ha permès assolir l'acurada edició del text.

L'informe no s'hauria dut a terme sense el suport i convenciment de la Direcció General de Polítiques Ambientals i Sostenibilitat, de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, del Servei Meteorològic de Catalunya (alguns dels seus experts han participat també com autors), i de l'Institut d'Estudis Catalans, que n'ha portat la gestió econòmica i administrativa. A totes aquestes institucions els trameto el meu profund reconeixement. Pel que fa a l'edició, he d'agrair primer la receptivitat i després el suport econòmic per a l'edició de la Fundació La Caixa, i també l'ajut de la Secció de Ciències i Tecnologia de l'Institut d'Estudis Catalans. Tots els treballs col·lectius tenen una persona, un punt clau, sovint poc coneguda però fonamental per entendre la bona fi del projecte. Aquest tampoc n'és una excepció i té el nom de Neus Portet, que ha donat tot el suport administratiu i de connexió entre autors, revisors i editors, sense la qual tot hauria estat diferent i molt més difícil i ineficaz. Rebi, Sra. Portet, també el meu agraïment. Finalment he d'agrair als membres del Consell editor, Josep Calbó, Carles Gràcia, Carme Llasat, Javier Martín-Vide, David Saurí i Joan David Tàbara, la seva disponibilitat i els seus comentaris, informació i suggeriments, sempre útils i ben formulats.

Josep Enric Llebot Rabagliati
Barcelona, octubre de 2010

1a part

Bases científiques del canvi climàtic

1. Els climes de Catalunya. El passat

Isabel Cacho

Global Carbon Project, Marine and Atmospheric Research, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Canberra, Austràlia

Isabel Cacho Professora de la Universitat de Barcelona i investigadora del Grup de Recerca de Geociències Marines de la Facultat de Geologia, amb experiència investigadora a centres de Alemanya, Anglaterra i els Estats Units. Experta en l'estudi de la variabilitat climàtica passada a partir de l'anàlisi de registres sedimentaris del fons marí. La seva tasca investigadora s'ha centrat a la regió Mediterrània i al Pacífic equatorial, on ha analitzat canvis climàtics ràpids i la variabilitat natural de fenòmens com *El Niño*. És membre de diferents comitès científics nacionals i internacionals, incloent programes del *World Climate Research Programme* i del *International Geosphere-Biosphere Programme*. Ha participat en nombroses campanyes oceanogràfiques i ha publicat un ampli nombre de treballs a revistes d'alt reconeixement científic.

Resum	17
1.1. Introducció	19
1.2. El CO ₂ i la variabilitat climàtica natural al planeta	20
1.2.1 Evolució climàtica prequaternària	21
1.2.2. CO ₂ i els cicles glacials-interglacials del Quaternari	24
1.3. Impacte de la variabilitat climàtica natural al marc català	26
1.3.1. Variabilitat climàtica durant els glacials	26
1.3.2. Acabaments glacials o desglaciacions	29
1.3.3. Variabilitat climàtica durant períodes càlids o interglacials	29
1.3.4. Evolució climàtica al llarg de l'Holocè	30
Conclusions	32
Referències	33

Resum

El clima ha estat variable al llarg de la història del planeta amb unes escales temporals variables. Destaquen en el passat més recent (durant el Quaternari, fa uns 2,6 milions d'anys) els canvis glacials-interglacials esdevinguts en milers-desenes de milers d'anys, i els denominats 'canvis ràpids'; ocorreguts en centenars d'anys, fins i tot en dècades.

La història climàtica del planeta ha anat molt lligada a les variacions en les concentracions de CO_2 atmosfèric, tot i que aquests canvis no sembla que hagin estat els causants inicials de la variabilitat climàtica passada, sí que hi ha diferents registres i models que indiquen que va ser un element clau amplificador de la intensitat de bona part de les grans transicions climàtiques.

Els canvis de concentració de CO_2 atmosfèric estan molt ben quantificats al llarg dels últims cicles glacials-interglacials, i actualment existeixen proves sòlides que situen l'origen d'aquests canvis a l'oceà, canvis oceanogràfics que van alterar el flux de CO_2 entre l'oceà i l'atmosfera.

Catalunya, juntament amb la regió Mediterrània, ha estat molt sensible als canvis climàtics del passat. Fins i tot sembla que l'expressió tèrmica d'alguns d'aquests canvis ha estat més intensa que la mitjana general.

La variabilitat climàtica ràpida de l'últim període glacial, així com l'evolució de l'última desglaciació ha estat molt lligada a l'evolució climàtica i oceanogràfica de la regió Nord-atlànica. Canvis ràpids en aquesta regió han tingut una forta expressió en les temperatures i la hidrologia del context català.

En general, tot i la limitació del registres pròpiament del territori català, sembla que els períodes de reducció en la intensitat de la circulació profunda de l'Atlàntic nord han estat associats amb períodes relativament freds i àrids en el marc català. Però aquesta relació no sembla que hagi estat igual per a tots els esdeveniments, particularment aquells produïts durant l'Holocè més recent. Aquesta observació és particularment rellevant, ja que indicaria que canvis tèrmics i hidrològics en el context mediterrani —i segurament català— no han tingut una relació estacionària al llarg del temps. Cal, encara, una millor caracterització regional i estacional d'aquests canvis per identificar els processos responsables d'aquests patrons diferenciats, processos que poden ser de crítica rellevància per determinar l'evolució hídrica en el context de canvi climàtic actual i futur.

1.1. Introducció

Actualment ens enfrontem a una **situació de canvi climàtic sense precedents**, no només en la història humana sinó en la història del planeta, la qual és molt més llarga (4.600 Ma). Són ja molts els indicadors que mostren que alguns elements del nostre sistema climàtic estan responenent no només a la nostra accelerada injecció atmosfèrica de gasos amb efecte d'hivernacle, sinó a la intensa alteració del medi i a l'ús dels recursos del nostre planeta que fa la societat actual. Però, ara per ara, són moltes les incerteses que hi ha sobre la intensitat, la velocitat i el impacte regional dels canvis de l'esdevenidor. A la història del planeta el clima sempre ha estat variable, una variabilitat pròpia d'aquest sistema natural. Aquesta variabilitat «natural» ha existit, existeix i existirà, i qualsevol de les nostres actuacions se sumará i/o restará a l'evolució natural.

L'objectiu de la paleoclimatologia és analitzar la **variabilitat climàtica «natural» del planeta**, entendre quan, com i perquè el clima ha variat, abans i també durant els inicis de la incidència humana en el clima. La situació de canvi actual clarament no té precedents a la història del planeta, entre d'altres per una raó fonamental: *Els sistemes naturals no tenen la capacitat d'injectar a l'atmosfera gasos amb efecte d'hivernacle a la velocitat que nosaltres ho estem fent*. El sistema Terra ha variat en moltes ocasions la concentració d'aquests gasos; aquests canvis han anat lligats a transicions climàtiques, hem passat per períodes amb concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle inferiors i períodes amb concentracions superiors, però mai el planeta ha estat capaç de variar aquestes concentracions a la velocitat amb què estan variant actualment. El carboni emmagatzemat a l'interior de la Terra és reciclat a l'atmosfera en forma de CO₂ amb processos geològics que triguen desenes i centenars de milers d'anys, fins i tot milions d'anys, i actualment s'estan donant només en qüestió d'anys. Però la injecció d'aquests gasos a l'atmosfera és només el primer esglaó d'una cadena de canvis en el denominat sistema climàtic. Un petit canvi en el balanç energètic del planeta, causat en aquest cas per l'augment dels gasos amb efecte d'hiverna-

cle, altera molts elements del sistema climàtic: els vents, els núvols, els fronts, els corrents oceànics, el glaç, la biomassa terrestre i marina... Els canvis climàtics «naturals» del planeta han ocorregut per causes molt diferents a la situació actual, però els processos que van interaccionar i modelar aquests canvis són els mateixos, i entendre la seva capacitat d'amplificar i/o amortir un canvi climàtic a escala global i regional és la nostra responsabilitat per millorar les nostres prediccions futures.

La importància de la paleoclimatologia dins de l'estudi de la variabilitat climàtica es pot emmarcar en tres fronts totalment entrelligats però de particular rellevància: 1) Oportunitat d'estendre els registres instrumentals per **augmentar la perspectiva temporal** i situar en context la situació actual de canvi. 2) Identificar la **resposta regional** a grans canvis climàtics naturals, ja que algunes regions han estat i seran més vulnerables que d'altres a la inestabilitat climàtica. 3) Entendre la capacitat d'interacció dels processos del sistema climàtic (vents, núvols, fronts, corrents oceànics, glaç, biomassa terrestre i marina, etc), en altres paraules, entendre els **mecanismes de retroalimentació** d'un canvi climàtic, i per a això es necessita analitzar-los durant transicions climàtiques plenament desenvolupades que només es troben en el passat. L'única eina de la qual es disposa per a la predicció futura són els **models climàtics**, i és aquesta l'eina de convergència amb la paleoclimatologia. Els models climàtics necessiten demostrar que són capaços de reproduir el comportament dels diferents processos del sistema climàtic, la seva sensibilitat i interacció. Ara per ara només podem posar-los a prova reproduint els canvis climàtics que sabem que es van donar en el passat. Tot i que la direcció del canvi per venir pot ser certament molt diferent dels canvis passats, cal entendre i parametritzar les interaccions entre els diferents elements del sistema climàtic.

La paleoclimatologia compta amb molts limitants derivats de la seva necessitat de reconstruir el clima passat sense mesures directes, és a dir la necessitat de basar-se en **indicadors indirectes** amb limitacions pròpies i sovint errors difícils

d'eliminar o rebaixar. El clima del passat s'estudia a partir de l'anàlisi de registres, que es poden agrupar en dos grans blocs: registres marins (testimonis de sediment marí, coralls...) i registres terrestres (testimonis de glaç, de sediments de llacs, anells d'arbres, torberes, espeleotemes...). Cada un d'ells presenta molts indicadors que es poden analitzar, i s'intenta treballar amb aquells indicadors més sensibles a variables climàtiques: temperatura atmosfèrica i marina, precipitació, intensitat del vent i dels corrents, concentració de gasos amb efecte d'hivernacle, resposta dels ecosistemes marins i terrestres, cicles biogeoquímics, etc. Durant les últimes dècades la paleoclimatologia ha revolucionat el coneixement que es tenia sobre la variabilitat climàtica natural. El creixent nombre de reconstruccions, així com la millora de la seva resolució temporal, i el desenvolupament d'indicadors nous i més precisos han permès entendre molts elements clau de la variabilitat climàtica passada. Com a exemples de **descobriments particularment destacables** es podrien esmentar la variabilitat climàtica de caràcter ràpid (referida a transicions esdevingudes en centenars o desenes d'anys), la importància de l'oceà com a gran amplificador de canvis climàtics, i també la variabilitat natural en la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle. Tot i aquests descobriments, són encara molts més els interrogants i la necessitat de caracteritzar amb molt més detall els processos responsables de la variabilitat climàtica del nostre planeta.

Aquest capítol està estructurat en dues seccions: la primera pretén donar una visió global de la rellevància que els canvis «naturals» en les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle han tingut en el clima passat; la segona secció fa un repàs a diferents treballs paleoclimàtics de rellevància per entendre l'impacte de la variabilitat climàtica passada a Catalunya.

1.2. El CO₂ i la variabilitat climàtica natural al planeta

El clima terrestre ha canviat molt al llarg de la història del planeta. Les causes de aquests canvis han estat diverses i les podem classificar en dos grans blocs: 1) els canvis deguts a un fenomen extern al sistema climàtic terrestre, entre els quals destaquen els canvis d'insolació associats a

fluctuacions dels paràmetres de l'òrbita terrestre, canvis en la intensitat de l'activitat solar i la tectònica de plaques; 2) els canvis deguts a fenòmens interns del sistema climàtic terrestre, entre els quals podem destacar la variació de la concentració dels gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera, la mida dels casquets de glaç continental, l'extensió del glaç oceànic, la circulació oceànica, la biosfera terrestre i marina, i els aerosols, entre molts altres.

L'estudi cada cop més detallat de canvis climàtics passats revela que els gran canvis sempre han succeït per la interacció de varis d'aquests fenòmens. Sovint es creu que el detonant d'un canvi pot ser un dels elements externs del sistema climàtic, però aquest immediatament activa la interacció de tota una sèrie d'elements interns que indueixen l'activació de les denominades 'cadena de retroalimentació' que finalment amplifiquen la intensitat del canvi original. En l'actual situació de canvi, el detonant principal és l'augment de la concentració dels gasos amb efecte d'hivernacle. Per valorar la importància de aquest canvi és crític revisar quin ha estat el paper d'aquest element del sistema climàtic durant transicions climàtiques passades. Actualment ja es comença a tenir un ampli ventall d'indicadors que permeten la reconstrucció directa o indirecta de les concentracions de CO₂ atmosfèriques. Les reconstruccions més fidedignes, per tractar-se de mesures directes, són les provinents dels testimonis de glaç de l'Antàrtida, però de moment, el registre més llarg de glaç cobreix únicament els últims 800.000 anys. Aquest període és crític per analitzar les variacions de gasos amb efecte d'hivernacle durant els cicles glacials-interglacials del Quaternari superior, però per anar més enllà en el temps calen altres indicadors. Aquest és un camp en continu desenvolupament i l'alt interès per obtenir reconstruccions acurades de CO₂ està fent augmentar les eines de treball i també la seva precisió.

Els canvis del CO₂ atmosfèric al llarg del temps geològic són el resultat de la interacció de diferents processos responsables de la captura i l'emissió de CO₂, que estan en continu reajustament. Les emissions de CO₂ per activitat volcànica són un dels principals processos responsables de l'alliberament de CO₂ a l'atmosfera, mentre que la meteorització química induïda per fases

ràpides d'aixecaments tectònics és un dels mecanismes principals de captació de CO_2 . S'ha de ressaltar que aquest processos poden introduir grans canvis (>1.000 ppm) a l'atmosfera, però la velocitat d'operació d'aquests processos és lenta, de l'ordre de desenes o centenars de milers d'anys a milions d'anys. Alguns esdeveniments, com l'aparició de plantes vasculars fa entre 380 i 350 Ma, també van contribuir puntualment a la baixada dels nivells de CO_2 . Aquests són els processos que han controlat els grans canvis de CO_2 al llarg de la història del planeta. Existeixen altres processos que poden modificar les concentracions atmosfèriques de CO_2 , però amb una amplitud molt menor que els anteriors (~ 100 ppm), però amb una major velocitat, en l'ordre de pocs millers d'anys. Aquest processos actuen sobre els fluxos de CO_2 entre l'atmosfera i la biosfera terrestre (canvis en la densitat i tipologia de la vegetació) i sobretot entre l'atmosfera i l'oceà (canvis en la productivitat marina i en la circulació vertical de les masses d'aigua).

1.2.1. Evolució climàtica prequaternària

A la història del planeta van existir períodes amb concentracions comparables a les actuals i fins i tot superiors. El **Fanerozoic** (els últims 545 Ma) correspon a l'era geològica durant la qual es va desenvolupar la vida animal al planeta. Durant la major part d'aquest període les concentracions atmosfèriques de CO_2 varen estar per sobre de les 1.000 ppm, concentracions molt superiors als valors pre-industrials (280 ppm) i als valors actuals (385 ppm al 2009). Tot i els errors associats a les reconstruccions, els patrons principals es consideren molt sòlids perquè ja són nombroses les reconstruccions disponibles (fins a 490 reconstruccions) que, independentment de l'indicador utilitzat, reproduïen les tendències principals i, a més, han estat validades per les projeccions de models geoquímics (Berner i Kothavala, 2001; Royer, 2006). A l'analitzar l'evolució del CO_2 atmosfèric al llarg del Fanerozoic (figura 1) s'identifiquen clarament dos períodes amb concentracions de CO_2 relativament baixes, el primer i més extens es va donar durant el Permo-Carbonífer (330-260 Ma), i el segon durant el Cenozoic (últims 30 Ma), del qual es parlarà amb més detall després. Existeixen abun-

dants proves geològiques d'aquest períodes, dipòsits glacials (til·lites) superfícies d'abradió glacial, que indiquen un prolongat i extens desenvolupament de grans glaciacions continentals.

D'altra banda, la major part del Fanerozoic va estar dominada per concentracions altes de CO_2 i climes càlids. Un exemple ben conegut és el Cretaci (65-145 Ma) quan les altes temperatures van permetre el desenvolupament d'espècies temperades a zones àrtiques i les temperatures oceàniques profundes, actualment a prop de la temperatura de congelació, van arribar a temperatures de 15°C (Crowley i Berner, 2001).

Existeix però el cas de l'Ordovicià (440 Ma), que tot i que presenta valors relativament alts de CO_2 també hi ha proves de grans glaciacions continentals, però no tan prolongades com les dels altres dos períodes amb concentracions baixes de CO_2 (Royer *et al.*, 2004). S'han proposat diferents arguments per explicar aquesta situació, com és el cas de la presència durant aquest període de un súper-continent (Gondwana) centrat al pol sud, o la falta de resolució de les reconstruccions de CO_2 que podrien no resoldre oscil·lacions de curta du-

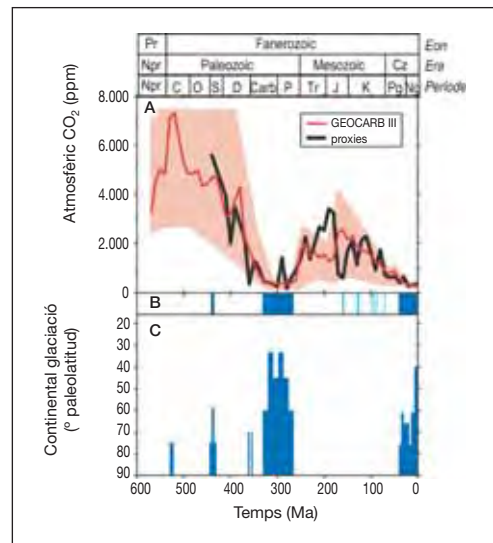


Figura 1. CO_2 i clima. A: Comparació entre reconstruccions d'indicadors de CO_2 i prediccions de models (GEOCARB III; Berner i Kothavala, 2001). La zona ombrejada és el rang d'errors de les prediccions de models. B: Intervals glacials (blau fosc) o climes freds (blau clar). C: Distribució latitudinal de les proves glacials directes (til·lita, superfícies estriades, etc.) al llarg del Fanerozoic. Figura modificada de Royer *et al.*, 2004.

rada, entre d'altres, però ara per ara és una qüestió per resoldre (Royer, 2006).

Aquestes proves indiquen que la concentració atmosfèrica de CO_2 s'ha correlacionat positivament amb les temperatures mitjanes globals durant la major part del Fanerozoic, fet que suggereix que el CO_2 ha estat un element determinant en el clima al llarg de bona part de la seva història (Berner i Kothavala, 2001; Crowley i Berner, 2001; Royer, 2006; Royer *et al.*, 2004). Aquesta anàlisi també ha permès establir uns llindars en la concentració de CO_2 crítics per el clima terrestre. Les grans glaciacions continentals es van produir sempre amb concentracions de CO_2 inferiors a les 1.000 ppm (Royer, 2006; Royer *et al.*, 2004). Aquestes observacions confirmen les prediccions fetes per models climàtics globals que estableixen un llindar per a la relació entre CO_2 i glaciacions d'entre 560 i 1.120 ppm (DeConto i Pollard, 2003). L'increment en la resolució dels treballs paleoclimàtics està mostrant que períodes càlids del Fanerozoic van estar puntualment interromputs per breus (<1Ma) períodes de refredament. Tot i que no van arribar a glaciacions, aquest períodes van estar associats a concentracions moderades de CO_2 (<500 ppm) (Royer, 2006). Encara que són molts els factors que poden controlar la temperatura del planeta (lluminositat solar, albedo, paràmetres orbitals, gasos amb efecte d'hivernacle, etc.) la concordança sistemàtica trobada al llarg del Fanerozoic indica que el CO_2 , potser no va ser el detonant d'aquest grans canvis climàtics, però sí que explica part dels patrons de les temperatures mitjanes globals (Royer, 2006). S'ha de dir que aquesta relació entre evolució climàtica i CO_2 també ha estat qüestionada a partir de la comparació de les reconstruccions de CO_2 amb una reconstrucció climàtica basada en relacions isotòpiques (Veizer *et al.*, 2000). Però aquesta podria estar compromesa per problemes de preservació que, si es corregien, validarien les reconstruccions basades en dades glaciològiques (Royer *et al.*, 2004).

Fa 55 Ma es va produir el denominat **Òptim Tèrmic del Paleocè-Eocè** (OTPE), període d'escalfament global associat a una forta i ràpida injecció de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera. Aquest període ha despertat un par-

ticular interès científic donat que presentà moltes analogies amb la situació de canvi actual. A l'inici de l'OTPE les temperatures globals van pujar 5 °C en menys de 10.000 anys (Sluij *et al.*, 2006) i a la vegada es produïa un alliberament a la atmosfera de més de 2.000 Gt de C en forma de CO_2 , una magnitud comparable als nivells previstos per als segles vinents (Dickens, 1997; Zachos *et al.*, 2008). Les causes d'aquest alliberament encara s'investiguen. Una de les hipòtesis més defensades identifica com a font la desestabilització dels anomenats *catrats*, bosses de metà congelat al fons marí. Aquest metà ràpidament s'oxidaria a CO_2 que s'alliberaria a l'atmosfera (Dickens, 2004; Dickens *et al.*, 1995). Però no sembla que aquesta fos l'única font de carboni, i caldrien múltiples fons per aconseguir concentracions tan elevades. Altres candidats serien l'oxidació del carboni orgànic marí i terrestre o el vulcanisme (Pagani *et al.*, 2006). Aquest canvis globals de temperatura i de CO_2 van anar lligats a canvis molt significatius en els patrons de precipitacions regionals, amb majors descàrregues fluvials a l'Àrtic. També es van donar canvis molt significatius als ecosistemes, amb migracions latitudinals i intercontinentals de plantes terrestres i mamífers, com la migració de grans mamífers d'Àsia a Nord-Amèrica; extincions massives d'espècies bentòniques marines i l'aparició sobtada de fitoplàncton i zooplàncton «exòtic» així com l'aparició d'ordres moderns de mamífers, incloent-hi els primats (Zachos *et al.*, 2003; Zachos *et al.*, 2005). Aquest període de temps que va durar uns 170.000 anys ofereix una oportunitat única per avaluar el paper de processos de retroalimentació biològics i físics que amplifiquen o moderen l'impacte de grans increments de CO_2 a l'atmosfera i també per investigar la sensibilitat del clima a canvis extrems en la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle. Cal ressaltar que una de les grans conseqüències dels alts nivells de CO_2 atmosfèric és el canvi en la química de l'oceà: les aigües esdevenen més àcides, situació que dificulta la calcificació d'organismes marins i per tant pot derivar en grans canvis en els ecosistemes marins. Durant les darreres dècades ja s'ha donat un augment en l'acidesa oceànica global com a conseqüència de les emissions antròpiques de CO_2 , i

les previsions per als pròxims segles projecten uns graus d'acidificació encara molt més intensos (Feely *et al.*, 2004; Sabine *et al.*, 2004). Durant l'OTPE l'acidificació de l'oceà va ser molt intensa, i es creu que va contribuir a la dràstica reducció en la biodiversitat dels organismes calcificadors bentònics. Simulacions de models comparant la situació de l'OTPE amb les previsions dels pròxims segles apunten a una acidificació futura de l'oceà profund encara més intensa (Pelejero *et al.*, 2010; Ridgwell i Schmidt, 2010). L'OTPE és per tant un període que ofereix l'oportunitat única de posar a prova algunes de les projeccions futures, i en aquesta direcció un aspecte de particular interès és analitzar el temps de recuperació per reabsorbir per mitjans naturals el carboni alliberat a l'atmosfera, i que s'ha calculat que és de l'ordre de 100.000 anys, comparable al predit pels models actuals (Zachos *et al.*, 2005). Aquest període és per tant una font d'informació crítica per entendre el comportament del planeta sota concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle comparables a les predites per al futur.

Durant els últims 33,5 Ma el planeta ha passat per diferents oscil·lacions climàtiques que han determinat una evolució general cap un refredament global i cap a la formació de grans mantells de glaç continental. Aquest període de transició que abasta bona part del Cenozoic ha tingut etapes molt diferenciades, i la seva anàlisi ha estat objecte de nombrosos estudis detallats que volen entendre els mecanismes responsables de l'estat climàtic actual. Breument, les fluctuacions més significatives que podrien ressaltar en aquest període són primer la glaciació del continent antàrtic en diferents fases, i en segon lloc la intensificació de la glaciació de l'hemisferi nord durant el Pliocè superior. **La glaciació de l'Antàrtica** va començar fa 33,5Ma, al límit entre l'Oligocè i l'Eocè. L'inici d'aquesta glaciació ha estat associat durant força temps a la formació del corrent circumpolar antàrtic un cop la tectònica de plaques va separar el continent Antàrtic del Sud-americà i va obrir el pas del Drake. La formació d'aquest corrent va actuar de barrera tèrmica bloquejant l'arribada de corrents temperats i, per tant, propiciant el refredament del continent i la seva glaciació (Kennett, 1977). Diferents models climàtics han demostrat que efectivament aquesta

situació induiria el refredament del continent antàrtic, propiciant-ne per tant la glaciació (Nong *et al.*, 2000; Toggweiler i Bjornsson, 2000). Aquest refredament però va coincidir amb una gran reducció de CO₂ atmosfèric que podria haver estat determinant també en afavorir el creixement del glaç antàrtic (Pagani *et al.*, 2005). El possible paper del CO₂ durant aquest esdeveniment climàtic s'ha posat a prova amb models climàtics numèrics conclouent que per iniciar-se la glaciació antàrtica va ser necessari que les concentracions atmosfèriques de CO₂ se situessin per sota del llindar de 750 ppm (DeConto i Pollard, 2003; DeConto *et al.*, 2008). La glaciació antàrtica va tenir una segona fase d'intensificació amb un gran creixement del mantell oriental durant el Miocè, concretament fa uns 13,5 Ma. Aquesta segona fase és particularment rellevant perquè ja es comença a disposar de registres d'alta resolució continus d'aquest període que permeten reconstruccions amb més precisió que per a temps més remots. Aquestes reconstruccions indiquen que els responsables d'aquest segon gran refredament i creixement del glaç antàrtic van ser la confluència de dos factors principals, d'una banda una configuració orbital que afavoria un baix contrast estacional, i per tant, la preservació del glaç durant l'estiu; de l'altra, una baixada en la concentració de CO₂ atmosfèric que va precedir breument la intensificació de la glaciació (Holbourn *et al.*, 2005). Aquest resultat encaixa amb un període de valors màxims en la meteorització química de l'altiplà de l'Himàlaia, condicions que afavoririen l'atrapament de CO₂ atmosfèric (Hodell i Woodruff, 1994). El desenvolupament de noves tècniques per a la reconstrucció del CO₂ ha permès posar a prova aquesta hipòtesi i confirmar una baixada de l'ordre de 250 ppm del CO₂ atmosfèric coincidint amb la fase de refredament (Tripathi *et al.*, 2009). Aquests resultats posen de manifest la rellevància que el CO₂ ha tingut en la glaciació antàrtica i situen també uns llindars crítics per a la formació d'aquest glaç que tot i que encara necessiten contrastar-se i ajustar-se, poden ser crítics per millorar la nostra capacitat de projecció del futur.

Tot i que l'hemisferi nord va tenir glaciacions efímeres des de finals de l'Eocè (38 Ma) (Eldrett *et al.*, 2007) la **intensificació de la glaciació de**

l'hemisferi nord amb el desenvolupament de grans mantells de glaç permanents va arribar bastant més tard, al Pliocè superior (2,7 Ma) i va posar fi al **període càlid del Pliocè mitjà** (3,3-3 Ma), dominat per temperatures mitjanes 2-3 °C més càlides que els valors preindustrials. Aquest episodis climàtics han estat lligats a un esdeveniment tectònic, el tancament de l'istme de Panamà. Aquest tancament va reorganitzar els corrents de l'Atlàntic nord, va intensificar el Corrent del Golf, i va propiciar el transport de masses d'aigua salines i càlides cap a altes latituds a la vegada que s'iniciava la formació de l'aigua profunda a l'Atlàntic nord (Haug *et al.*, 2001; Haug i Tiedemann, 1998). S'ha hipotetitzat que l'augment d'humitat a latituds altes va permetre el creixement de les glaceres, però registres detallats han revelat que entre l'inici de la formació de les aigües profundes atlàntiques i l'intens creixement del glaç van passar 0,5-1 Ma. De fet, aquest reforçament en el Corrent del Golf s'ha proposat com un dels processos responsables de les altes temperatures del Pliocè mitjà (Raymo *et al.*, 1996). Un nombre creixent d'estudis ha assenyalat diferents processos que podrien haver contribuït al posterior refredament i inici de la glaciació de l'hemisferi nord, entre els quals destaquen els moviments orbitals, els canvis oceanogràfics i canvis en la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle. El creixement del glaç a l'hemisferi nord es va donar durant un període d'alta variabilitat en la l'obliquïtat que va propiciar períodes amb angles baixos en l'eix de rotació que haurien donat estius relativament freds i afavorit així la intensificació de la glaciació (Haug i Tiedemann, 1998). Canvis oceanogràfics al Pacífic nord associats a una major estacionalitat també s'han proposat com una font d'humitat en el moment de ràpid creixement de les glaceres de l'hemisferi nord (Haug *et al.*, 2005). L'oceanografia del Pacífic equatorial també va canviar en aquest moment amb l'acabament d'una situació permanent de *El Niño* que hauria afavorit les condicions càlides del Pliocè mitjà i el refredament posterior (Wara *et al.*, 2005). Aquest refredament també s'ha atribuït a una davallada de la concentració de CO₂, hipòtesi que es va plantejar primer a partir de les evidències d'un augment de la meteorització química per l'aixecament de

l'altiplà de l'Himàlaia durant el Cenozoic (Raymo i Ruddiman, 1992) però en aquell moment no hi havia reconstruccions del CO₂ amb prou resolució per posar a prova aquesta hipòtesi. Les primeres reconstruccions per a aquest període indiquen concentracions de CO₂ de l'ordre de 400 ppm (Raymo *et al.*, 1996) valors que tot i ser més alts que els preindustrials no arriben a duplicar-lo com s'havia hipotetitzat a partir de les primeres simulacions de models climàtics (Crowley, 1991). Una reconstrucció més recent que cobreix la fase de refredament suggereix una reducció del CO₂ de 300 ppm a unes 200 ppm (Tripathi *et al.*, 2009). Simulacions de models climàtics numèrics suggereixen que aquesta davallada del CO₂ va ser la responsable principal del refredament, per sobre dels altres factors proposats (Lunt *et al.*, 2008). Models glaciològics han demostrat l'alta sensibilitat dels mantells de glaç a les concentracions de CO₂ i han permès establir la concentració de 280 ppm de CO₂ com el llindar en què es comença a formar glaç a Grenlàndia (DeConto *et al.*, 2008), un valor lleugerament superior al llindar de 220-260 ppm proposat a partir de reconstruccions amb indicadors (Tripathi *et al.*, 2009). Aquest resultat també confirma que el glaç de l'hemisferi nord és molt més sensible a l'increment de CO₂ que el de l'Antàrtida.

1.2.2. El CO₂ i els cicles glacials-interglacials del Quaternari

La base del Quaternari s'ha situat recentment en 2,6 Ma (Gibbard *et al.*, 2009) tot just quan s'havia iniciat la intensificació de la glaciació de l'hemisferi nord. Durant el Quaternari tots dos hemisferis han tingut mantells de glaç permanents, però la seva extensió va oscil·lar d'acord amb els cicles glacials i interglacials. En total s'han identificat més de 100 cicles glacials-interglacials també denominats estadis isotòpics marins (MIS, *marine isotopic stages*) (Lisiecki i Raymo, 2005). Durant la major part del Quaternari (88%) la Terra ha estat en fases de glaciació, i per tant durant el passat recent es podria dir que els períodes freds són un estat de més normalitat que els períodes càlids o interglacials. La duració i freqüència d'aquest cicles ha variat al llarg del Quaternari però sempre han oscil·lat segons la freqüència d'alguna de les fluctuacions pròpies dels moviments de l'òrbita ter-

restre (excentricitat, obliqüïtat o precessió), la qual cosa posa de manifest que aquesta variabilitat climàtica ha estat induïda pels canvis d'insolació derivats dels moviments orbitals (Hays *et al.*, 1976; Lisiecki i Raymo, 2007). Però ja des de la construcció dels primers registres paleoclimàtics es va fer evident que el sistema climàtic no tenia una resposta lineal als canvis d'insolació induïts pels moviments orbitals i que altres elements del sistema climàtic havien de ser crítics en el modelat dels cicles glacials-interglacials. Inicialment es va hipotetitzar que aquesta no-linealitat en la resposta podria estar associada a la dinàmica dels mantells de glaç, amb creixements lents i fases ràpides de desglaç (Hays *et al.*, 1976). Però els canvis en el volum del glaç van passar 2.000-3.000 anys després dels canvis en la temperatura i en la concentració del CO₂ (Lea *et al.*, 2000; Visser *et al.*, 2003) i s'ha proposat que els canvis en el cicle global del carboni podrien ser una de les causes principals de la no-linealitat de la resposta climàtica (Shackleton, 2000).

Disposem de registres de CO₂ per al Quaternari recent mesurats directament a l'aire fossilitzat al glaç de l'Antàrtida que permeten reconstruccions amb molt alta precisió (Petit *et al.*, 1997; Siegenthaler *et al.*, 2005). Aquest registre són particularment rellevants perquè en primer lloc demostren que durant els cicles glacials i interglacials el cicle global del carboni es va alterar de forma natural alliberant CO₂ a l'atmosfera durant les desglaciacions i capturant-lo durant les glaciacions. En segon lloc, ens identifiquen clarament els límits d'aquesta variabilitat natural amb valors mínims durant els màxims glacials al voltant de 180 ppm i màxims de 280 ppm durant els interglacials (fig. 2). Per tant, els nivells de CO₂ atmosfèrics del Quaternari més recent han estat sempre inferiors als enregistrats durant l'era industrial. Des de l'obtenció d'aquests registres, un dels grans reptes per a la comunitat paleoclimàtica ha estat identificar quina era la causa d'aquests canvis. Hi ha força candidats, i el que cada cop està més clar és que no existeix un únic procés responsable de la variabilitat glacial-interglacial del CO₂ (Sigman i Boyle, 2000). S'ha proposat que un dels processos principals d'aquest canvis és la bomba biològica, que consisteix en la captació de carboni per part d'algues

marines i el posterior enfonsament del carboni orgànic a l'interior de l'oceà. Tot i la existència de proves paleoclimàtiques sòlides de canvis de productivitat a l'oceà austral, associats als canvis de CO₂ (Calvo *et al.*, 2004; Martínez-García, *et al.*, 2009), resultats de models climàtics conclouen que aquest procés només podria explicar canvis fins a 40ppm, i per tant és necessària la participació d'altres mecanismes (Watson *et al.*, 2000). Projeccions de models climàtics suggereixen que canvis en la formació d'aigües profundes i intermèdies a l'oceà austral, lligats a la posició i a la intensitat dels vents van també contribuir significativament als canvis glacials-interglacials (Toggweiler *et al.*, 2006). Cada cop són més les proves paleoceanogràfiques que apunten a l'oceà austral com la font principal de l'augment postglacial de CO₂ (Anderson *et al.*, 2009; Barker *et al.*, 2009; Skinner *et al.*, 2010). Independentment de les causes d'aquest canvis, on no hi ha dubte és en l'extraordinari paral·lelisme entre el registre de CO₂ i altres registres climàtics que abonen la hipòtesi que els canvis de CO₂ van contribuir substancialment als cicles glacials-interglacials (Petit *et al.*, 1997; Siegenthaler *et al.*, 2005). S'ha de dir que els increments de CO₂ es van iniciar uns 600 anys més tard que els canvis de temperatura a l'hemisferi sud (Fischer *et al.*, 1999; Monnin *et al.*, 2001; Siegenthaler *et al.*, 2005), per tant no van ser els detonants dels canvis glacials-interglacials, però sí que sembla que van amplificar els canvis de temperatura globals.

L'augment de la resolució en els estudis paleoclimàtics ha permès identificar que el clima va oscil·lar amb freqüències més altes que els cicles glacials i interglacials. Particularment, els registres de glaç de Groenlàndia (fig. 3) van permetre identificar durant l'últim període glacial l'esdeveniment de uns cicles càlids i freds de curta durada (~1.000 anys) que s'han denominat cicles de Dansgaard-Oeschger (D-O) i que presenten unes fases d'escalfament i refredament de dècades a pocs centenars d'anys. Aquest cicles s'han identificat al registre paleoclimàtic de bona part del planeta (Broecker, 2006), particularment algunes de les fases fredes denominades *Heinrich Events* (HE) durant les quals van ocórrer canvis particularment extrems associats amb la descàrrega massiva d'icebergs a l'Atlàntic nord

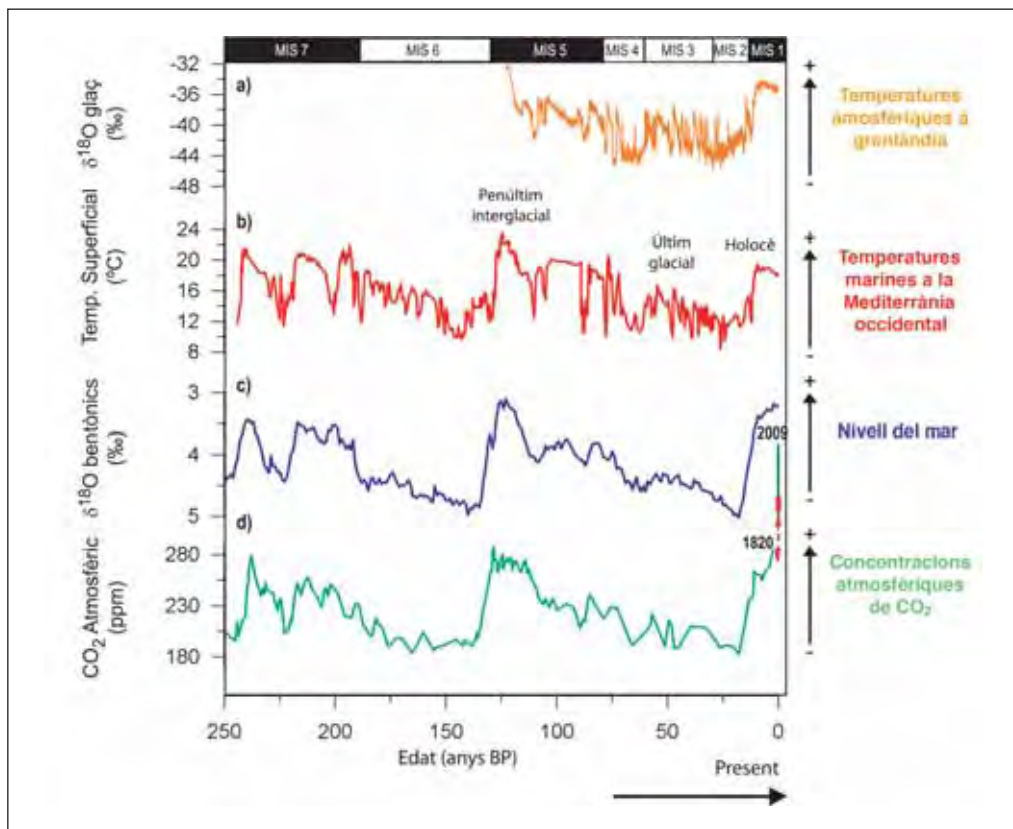


Figura 2. Registres paleoclimàtics dels últims 150.000 anys. a) Isòtops de l'oxigen mesurats al glaç del testimoni NGRIP de Grenlàndia i indicador de temperatures atmosfèriques (NGRIP Project Members *et al.*, 2004). b) Registre de les temperatures superficials marines mesurat al testimoni marí ODP-977 del mar d'Alboran, Mediterrani Occidental (Martrat *et al.*, 2004). c) Corba compassada per la suma de diferents registres d'isòtops de l'oxigen de foraminífers bentònics i indicativa del nivell del mar global (Lisiecki i Raymo, 2005). d) Registre de CO_2 atmosfèric mesurat al testimoni de glaç antàrtic de Vostock en verd (Petit *et al.*, 1997); al testimoni de glaç antàrtic de Law Dome amb punts vermells (Etheridge *et al.*, 1996); registre instrumental de Mauna Loa. La barra superior indica la posició dels últims estadis isotòpics marins (Marine Isotopic Stage – MIS). UMG: Últim Màxim Glacial.

(Hemming, 2004). A l'Antàrtida i bona part de l'hemisferi sud aquesta variabilitat ràpida segueix un patró molt diferenciats al de Grenlàndia i s'atribueix als canvis de circulació oceànica global vinculats amb aquest canvis ràpids (Ganopolski i Rahmstorf, 2001). Els registres de l'Antàrtida també indiquen que les concentracions de CO_2 atmosfèric van variar durant al menys els esdeveniments més prolongats en el temps, amb pujades de CO_2 durant períodes càlids a l'hemisferi sud, però la baixa resolució d'aquest registre no permet encara fer anàlisis amb detall per establir-ne la relació i analitzar les possibles causes de aquest canvis (Petit *et al.*, 1997).

1.3. Impacte de la variabilitat climàtica natural al marc català

1.3.1. Variabilitat climàtica durant els glacials

Un dels grans reptes paleoclimàtics de les últimes dècades ha estat identificar l'impacte que la variabilitat climàtica ràpida de l'últim glacial (cicles de D-O) ha tingut en diferents regions del planeta. L'anàlisi d'aquesta variabilitat ha revolucionat el nostre coneixement del sistema climàtic i les seves teleconnexions interlatitudinals i inter-regionals. L'Atlàntic nord i les terres circumdants han estat les zones amb un major im-

pacte (Broecker, 2006). Però ara per ara tenim evidències sòlides que el seu efecte també va arribar a la Mediterrània (Cacho *et al.*, 1999). L'anàlisi intensa de diferents indicadors marins i terrestres en sediments del mar d'Alboran ha posat de manifest que la variabilitat de D-O va estar associada a canvis de 2-4 °C en les temperatures superficials marines (figura 3), però també van canviar els patrons de productivitat marina així com la vegetació del sud d'Ibèria, règim de pluges i de vents (Cacho *et al.*, 2000, 2002 i 2006; Fletcher i Sánchez Goñi, 2008; Moreno *et al.*, 2002, 2004 i 2005; Sánchez Goñi *et al.*, 2002). La causa d'aquesta variabilitat ha estat d'una banda la connexió oceanogràfica entre l'Atlàntic i la Mediterrània a través de l'estret de Gibraltar, que va permetre la propagació dels intensos canvis oceanogràfics de l'Atlàntic amb l'entrada d'aigües fredes fins i tot polars en els moments de baixa formació d'aigües atlàntiques profundes o fins i tot aturades. Aquestes variacions en la temperatura de l'aigua es van propagar per la Mediterrània occidental, tenim evidències de registres al nord de Menorca i també al golf de Lleó d'oscil·lacions comparables i fins i tot més intenses que les detectades a Alboran (Sierro *et al.*, 2005 i 2009). Però els indicadors que tenim també revelen que les condicions atmosfèriques van variar molt amb una extensió més meridional de cinturons de vents de l'oest que van tenir un gran impacte a l'oceanografia de les conques nord del Mediterrani i al Golf de Lleó (Cacho *et al.*, 2006; Frigola *et al.*, 2008; Sierro *et al.*, 2005). Tot i que aquests canvis han estat detectats a arxius marins és també d'esperar un impacte significatiu a la vessant mediterrània d'Ibèria i particularment a Catalunya. Actualment no existeix cap registre terrestre a Catalunya amb longitud i resolució suficient per analitzar amb detall aquest tipus de variabilitat i el seu impacte directe. Però ja existeixen algunes proves fermes com és el registre pol·línic del Traverí del l'abric Romaní (Capellades) on es detecten oscil·lacions d'alta freqüència que han estat correlacionades amb alguns dels cicles de D-O (Burjachs i Julià, 1994), aquest registre indica que moltes de les oscil·lacions de D-O del MIS 3 inicial (49-46 ka BP) es van succeir com l'alternança de períodes humits i càlids amb

períodes freds i àrids, patró que encaixa amb altres evidències properes. Tot i algunes limitacions de cronologia i resolució, dos estudis del llac de Banyoles mostren proves de variabilitat mil·lenària per la part més recent del MIS 3, confirmant que al menys durant els HE 3 i 2 van dominar condicions seques en aquesta regió (Perez-Obiol i Julià, 1994; Valero-Garcés *et al.*, 1998 p. 41). El registre de la torbera del Portalet als Pirineus Centrals confirma també la persistència d'un clima fred i àrid durant aquest HE (Gonzalez-Samperiz *et al.*, 2006).

Un aspecte de particular interès en la paleoclimatologia catalana el revela el registre de l'abric Romaní indicant l'existència de períodes passats on van coexistir condicions fredes i humides (Burjachs i Julià, 1994), patró contrastat amb el descrit anteriorment per al MIS 3 i que posa de manifest la complexitat de la resposta climàtica al nostre país i la necessitat d'entendre els processos atmosfèrics responsables d'aquestes respostes climàtiques tan diferenciades. Aquestes condicions humides i fredes es van donar abans del MIS 3, durant el denominat MIS 4 (70-65 ka BP), i aquestes condicions podrien també haver dominat els Pirineus i afavorir una fase de desenvolupament màxim de les glaceres pirinenques (García-Ruiz *et al.*, 2003; Gonzalez-Samperiz *et al.*, 2006; Lewis *et al.*, 2009). Aquestes evidències, juntament amb les d'altres sistemes muntanyosos ibèrics (Jiménez Sánchez i Fariás Arquer, 2002) i del Mediterrani (Hughes i Woodward, 2008) indiquen que la màxima extensió de les glaceres del sud d'Europa va precedir en molts mil·lennis l'Últim Màxim Glacial (UMG), període ocorregut entre 19-23 Ka BP durant el MIS 2, i definit com la màxima extensió dels grans mantells de glaç continental (Mix *et al.*, 2001). S'havia adoptat la hipòtesi que l'UMG podria haver estat un període massa àrid a la regió mediterrània per afavorir el creixement de les glaceres muntanyoses, però aquestes interpretacions estan ara per ara en fase de reexaminació degut a l'aparició de noves dades. Dades de sistemes de morrenes a les valls del Pirineu central (Gállego, Noguera Ribagorçana i Aude) amb noves tecnologies indiquen un creixement de glaceres durant l'UMG tot i que no descarten que aquestes fases de creixement de l'UMG no fossin tan desenvolupades com les

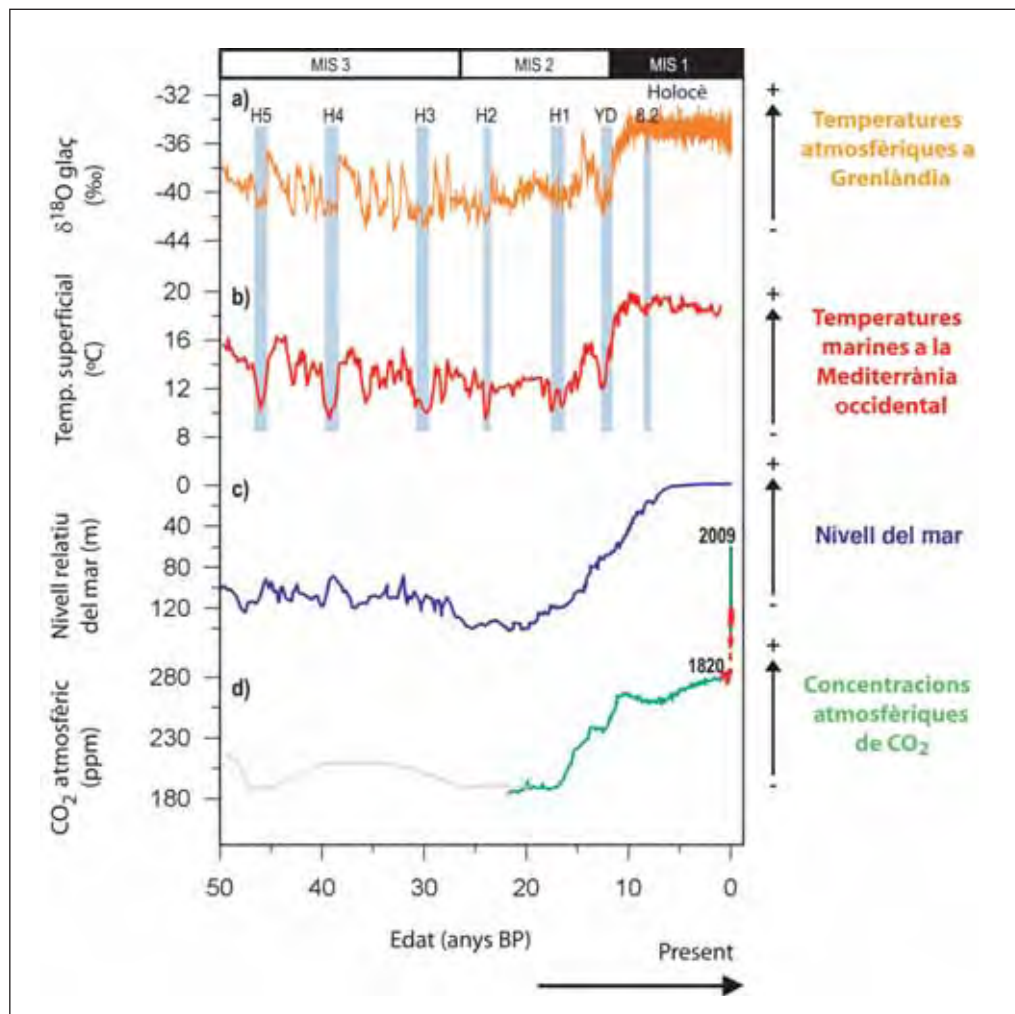


Figura 3. Registres paleoclimàtics dels últims 40.000 anys. a) Isòtops de l'oxigen mesurats al glaç del testimoni NGRIP de Grenlàndia i indicador de temperatures atmosfèriques (NGRIP Project Members *et al.*, 2004). b) Registre de les temperatures superficials marines mesurat al testimoni marí MD95-2043 del mar d'Alboran, Mediterrani Occidental (Cacho *et al.*, 1999). c) Nivell relatiu del nivell del mar, amb valor 0 al nivell actual (Lambeck i Chappell, 2001; Siddall *et al.*, 2003). d) Registre de CO₂ atmosfèric mesurat al testimoni de glaç antàrtic de Vostock en verd clar (Petit *et al.*, 1997); al testimoni de glaç antàrtic de mont Concòrdia amb verd (Monnin *et al.*, 2001); al testimoni de glaç antàrtic de Law Dome amb punts vermells (Etheridge *et al.*, 1996); registre instrumental de Mauna Loa. La barra superior indica la posició dels últims estadis isotòpics marins (Marine Isotopic Stage – MIS). Les barres verticals blaves indiquen la posició de diferents esdeveniments freds definits a altes latituds: Heinrich Events (HE), Younger Dryas (YD) i 8.2. UMG: Últim Màxim Glacial.

descrites per al MIS 4 (Hughes i Woodward, 2008; Pallàs *et al.*, 2006). D'altra banda, noves dades de llacs del Prepirineu central i de la depressió de l'Ebre indiquen que l'UMG no va ser tan àrid com per exemple el HE1 (González-Sampérez *et al.*, 2008; Morellón *et al.*, 2009). Encara no està clar que aquesta major disponibilitat

hídrica de l'UMG sigui la resposta directa a precipitacions o a una reducció de l'evapotranspiració durant els mesos estivals (Morellón *et al.*, 2009). Dintre del registre marí l'UMG s'identifica com un període relativament fred, amb aigües superficials 8 °C de mitjana més fredes que en el present (figura 2), però aquest interval no va ser

el període més fred a la Mediterrània, sinó que els HE s'identifiquen com els períodes de refredament més extrem dins del context del Mediterrani occidental (Cacho *et al.*, 1999; Pérez-Folgado *et al.*, 2003; Sierro *et al.*, 2005 i 2009).

1.3.2. Acabaments glacials o desglaciacions

Les desglaciacions, també denominades terminacions, són les grans transicions climàtiques que finalitzen els períodes glacials i donen l'entrada als interglacials. La durada d'aquestes transicions és de l'ordre de 5-7 ka, i per tant relativament curtes si es comparen amb les transicions de condicions interglacials a condicions plenament glacials, que es van donar en desenes de milers d'anys (fig. 2 i 3). Les desglaciacions van implicar una reorganització plena del sistema climàtic planetari. Tot i la complexitat dels processos implicats, el seu estudi ha estat particularment suggestiu i intens i ha permès entendre moltes interaccions del sistema climàtic. Les desglaciacions estan induïdes pels canvis d'insolació que rep la terra deguts als moviments de l'òrbita terrestre (Imbrie *et al.*, 1993). Però la intensitat i extensió d'aquests canvis necessiten la interacció de molts altres elements propis del sistema climàtic terrestre. Tot i que les desglaciacions van ser fenòmens d'escala planetària, el seu inici i les seves característiques van tenir un senyal molt diferenciat al llarg del planeta. De fet, l'inici de l'escalfament no va ser sincrònic a tot arreu. Els registres de temperatura disponibles indiquen que les temperatures a bona part de l'hemisferi sud, incloent-hi l'Antàrtida, van iniciar el seu escalfament diversos mil·lennis abans que l'Atlàntic Nord. Aquest escalfament primerenc de bona part de l'hemisferi sud també va avançar-se uns centenars d'anys a l'inici de la pujada del CO₂ atmosfèric (Monnin *et al.*, 2001). Mentre l'hemisferi sud anava escalfant-se, a l'Atlàntic nord s'estava produint l'últim dels *Heinrich events* (HE 1) amb el conseqüent impacte climàtic a bona part d'Europa, que van produir un refredament regional, i per tant, l'escalfament desglacial es va endarrerir uns 2-3 ka respecte l'inici dels canvis a l'hemisferi sud.

Els registres paleoclimàtics que tenim a Catalunya i al Mediterrani occidental indiquen que l'última desglaciació va seguir les pautes de l'At-

làntic nord (fig. 3). L'inici de l'escalfament es va donar als 1,5 ka BP i es detecta als registres mediterranis amb un escalfament de les aigües superficials d'uns 4-5 °C (Cacho *et al.*, 2001; Sierro *et al.*, 2005). Aquesta transició climàtica s'ha identificat també a la seqüència pol·línica del llac de Banyoles amb la instal·lació de condicions humides (Perez-Obiol i Julia, 1994), patró consistent amb l'identificat als registres dels Pirineus i Pre-pirineu centrals (Gonzalez-Samperiz *et al.*, 2006; Morellón *et al.*, 2009). L'escalfament de l'última desglaciació al Nord d'Europa va ser interromput pel denominat «Younger Dryas» traduït com «Dries recent», que va durar uns 1.200 anys durant els quals es va retornar a unes condicions pràcticament glacials al nord d'Europa (Peteet, 1995). La presència d'aquest interval al registre paleoclimàtic de la península ibèrica i del Mediterrani ha estat polèmic i amb proves sovint contradictòries. Tot i que cal revisar moltes d'aquestes proves, els registres marins amb una resolució cada cop més alta i amb models cronològics més precisos revelen un fort impacte d'aquest esdeveniment amb refredaments de fins a 4 °C i també canvis molt significatius a l'oceanografia profunda de la conca occidental (Cacho *et al.*, 2001 i 2002). En el registre terrestre sembla que aquest senyal no és sempre tan intens, però tot i això s'ha identificat al registre de Banyoles amb un retorn a condicions més àrides (Perez-Obiol i Julia, 1994) aquest senyal d'aridesa sembla que va ser més intens en els registres pirenaics (Gonzalez-Samperiz *et al.*, 2006; Morellón *et al.*, 2009).

1.3.3. Variabilitat climàtica durant períodes càlids o interglacials

Es dona el nom d'interglacials als períodes relativament càlids durant els quals els casquets de glaç van reduir significativament la seva mida. Tradicionalment s'ha considerat que la durada d'aquests intervals és de l'ordre de 10 ka. Però a mida que els registres guanyen resolució i les tècniques d'anàlisi milloren s'observa que cadascun d'aquests interglacials ha tingut característiques diferents: alguns han estat més càlids que d'altres i també la seva duració ha estat molt variable (Tzedakis *et al.*, 2009). Aquesta variabilitat i les seves causes tot just es comencen a conèixer, però l'estudi detallat de la variabilitat climàtica

dels interglacials és particularment rellevant per entendre millor la variabilitat climàtica natural del nostre actual interglacial. L'interès particular se centra en els interglacials més recents, durant els quals els continguts atmosfèrics de CO₂ van ser comparables als de l'època pre-industrial (fig. 2).

L'interglacial de què es disposa de més informació paleoclimàtica és l'actual Holocè, del qual es parlarà a continuació, però l'estudi dels interglacials anteriors és particularment rellevant per entendre quins són els límits de la variabilitat climàtica natural previsible durant períodes climàtics comparables al nostre interglacial. El penúltim interglacial, el denominat MIS 5, té un interès particular ja que molts registres suggereixen que va ser un interglacial més càlid (2 °C de mitjana) que l'Holocè (Otto-Bliesner *et al.*, 2006). Les causes d'aquestes temperatures més altes s'atribueixen a un augment en la insolació deguda a la diferent configuració orbital d'aquest període. Es coneix que aquestes condicions van reduir molt les dimensions del mantell de glaç de Grenlàndia i, conseqüentment, el nivell mitjà del mar es va situar uns 4-6 m per sobre del nivell actual (Overpeck *et al.*, 2006). L'estudi d'aquest període ofereix per tant una oportunitat única per entendre com el sistema climàtic pot operar en unes condicions climàtiques més càlides.

En el context català no es disposa ara per ara de registres paleoclimàtics per analitzar l'impacte regional d'aquest període climàtic, però és interessant fer una breu repassada de registres disponibles en les proximitats. Hi ha alguns registres d'espeleotemes del sud de França no continus per al MIS 5 que indiquen temperatures comparables a les actuals (Plagnes *et al.*, 2002). Aquests resultats no semblen confirmar els resultats obtinguts en la majoria d'arxius paleoclimàtics d'altres regions del planeta i potser és conseqüència del seu caràcter fragmentari. L'únic registre paleoclimàtic continu que actualment cobreix l'últim interglacial i l'actual en el context del Mediterrani Occidental és una reconstrucció de temperatures de les aigües superficials marines produïda al sud de la península, al mar d'Alboran (figura 2), i indica temperatures de fins a 4 °C més càlides que l'interglacial actual (Martrat *et al.*, 2004) i per tant amplificant l'escalfament general associat a aquest interval. Aquestes tem-

peratures càlides de la Mediterrània es veuen també confirmades per reconstruccions fragmentàries produïdes al sud de Mallorca que indiquen temperatures marines 3-7 °C superiors a les actuals (Cornu *et al.*, 1993).

És interessant remarcar també que al llarg del MIS 5 s'han detectat oscil·lacions climàtiques significatives associades a canvis en la intensitat de la circulació profunda de l'Atlàntic nord (Hillaire-Marcel *et al.*, 2001), aquestes oscil·lacions sembla que podrien estar associades a oscil·lacions de l'ordre de 2 °C a les aigües superficials del Mar d'Alboran (Martrat *et al.*, 2004) canvis que també s'han identificat al sud de Sicília (Sprovieri *et al.*, 2006) i per tant confirmen la seva extensió regional Mediterrània. L'impacte d'aquesta variabilitat a terra es desconeix ara per ara, però podria estar associada a oscil·lacions tèrmiques de l'ordre de 4 °C detectades als registres d'espeleotemes del sud de França (Plagnes *et al.*, 2002).

1.3.4. Evolució climàtica al llarg de l'Holocè

L'Holocè és el nom del període interglacial en què ens trobem actualment. Aquest període relativament càlid es va iniciar fa 11,7 Ka BP (Walker *et al.*, 2009). L'Holocè s'ha descrit com un període de relativa estabilitat climàtica quan es compara sobretot amb la variabilitat ràpida i intensa que va caracteritzar l'últim període glacial. Però dins d'aquesta estabilitat relativa, estudis de detall revelen canvis significatius en el clima de l'Holocè (Mayewski *et al.*, 2004). Aquesta variabilitat ve donada d'una banda per canvis progressius al llarg de l'Holocè, i d'altra banda es poden identificar oscil·lacions a curt termini, relativament ràpides, de desenes/centenars d'anys que se sobreposen a l'evolució holocena.

En general molts registres holocens suggereixen que les temperatures màximes es van donar a inicis de l'Holocè, durant el denominat Òptim Climàtic Holocè. Però el creixent nombre d'estudis de detall mostren diferències regionals molt significatives en aquests patrons. Els registres tèrmics més nombrosos són els de temperatures superficials marines, i el recull de molts treballs ha permès establir que el desenvolupament d'aquest Òptim Climàtic Holocè es dona clarament en latituds intermèdies i altes de l'he-

misferi nord, sobretot de l'Atlàntic nord (Kim *et al.*, 2004; Marchal *et al.*, 2002). Aquest és el cas també del Mediterrani occidental (Cacho *et al.*, 2001). Registres del mar d'Alboran indiquen que el període més càlid es va donar a inicis de l'Holocè i des de llavors s'ha donat un refredament progressiu mitjà de l'ordre de 0,5 °C (Cacho *et al.*, 2001; Martrat *et al.*, 2004). Aquest patró tèrmic també es dona en altres regions més centrals del Mediterrani occidental però amb un refredament més intens, de l'ordre d'1,5 °C al mar Tirrè, al nord de Sicília (Cacho *et al.*, 2001). El registre de temperatures superficials marines més proper al litoral català correspon a un testimoni extret al nord de Menorca que confirma els valors màxims a l'inici de l'Holocè i un refredament mitjà al llarg de l'Holocè d'1 °C (Herrera i Cacho, en premsa). En general, l'evolució de temperatures durant l'Holocè està millor establerta al registres marins que als terrestres atesa la complexitat que tenen aquests últims per separar el senyal hidrològic del tèrmic. Un dels poc registres continus de temperatures atmosfèriques disponible i proper a la geografia catalana prové del llac Redó, al Pirineu central (Pla i Catalan, 2005). Aquest registre, tot i mostrar oscil·lacions mil·lenàries molt significatives, no mostra, però, una evolució progressiva de refredament o escalfament al llarg de l'Holocè, això sí, els esdeveniments càlids més intensos es van donar a inicis de l'Holocè (Pla i Catalan, 2005). Els registres de pol·len són indicadors directes de la vegetació i per tant de les condicions atmosfèriques que, entre altres, integren el senyal tèrmic i hídric. S'han fet esforços per reconstruir els canvis de temperatura atmosfèrica a partir de seqüències pol·líniques del nord i el sud d'Europa. Els resultats presentats del sud de França i nord de la península indiquen temperatures mínimes a l'inici de l'Holocè i un posterior escalfament continuat fins a l'actualitat de 2 °C d'intensitat (Davis *et al.*, 2003). Aquesta reconstrucció no es confirma amb altres reconstruccions fetes també a partir del pol·len, on les temperatures de l'inici de l'Holocè semblen 1-2 °C superiors a la actualitat (Huntley i Prentice, 1988). Sembla ser que aquest problema és conseqüència del limitat nombre de dades disponibles per a aquesta regió, fet que dificulta la reconstrucció de temperatures atmosfèriques.

Els registres terrestres holocens sí que detecten clarament canvis molt significatius en la hidrologia de la regió mediterrània, suggerint que els canvis de precipitacions van ser potser més significatius que els tèrmics. Canvis en la vegetació en la regió circummediterrània ha permès separar l'Holocè en tres intervals: un període primerenc humit (11,5-7 ka BP); una fase intermèdia de transició (7-5,5 ka BP), i un període àrid més recent (5,5-0 ka BP) (Jalut *et al.*, 2009). Reconstruccions del nivell de llacs del sud d'Europa també confirmen que l'Holocè primerenc era relativament humit i es va donar una major aridesa després dels 5 ka BP (Harrison i Digerfeldt, 1993). Aquesta evolució holocena està també molt ben caracteritzada en registres de la península ibèrica però sembla ser que els canvis no són del tot sincrònics. El període de màxima humitat va ser relativament primerenc (9-8 ka BP) als Pirineus, on la fase d'aridesa va començar a partir de 8-7,5 ka BP (Gonzalez-Samperiz *et al.*, 2006; Morellón *et al.*, 2008). El registre de pol·len del llac de Banyoles també confirma aquest Holocè primerenc humit a Catalunya (Perez-Obiol i Julia, 1994). Cap a la vall de l'Ebre, registres de salines indiquen que les condicions d'aridesa van ser dominants a partir dels 5 ka BP (González-Sampérez *et al.*, 2008). Aquest períodes hídrics holocens també es detecten de manera molt intensa cap al sud i el sud-est de la península, però sembla que les transicions van estar enrederides (Carrión *et al.*, 2007).

Aquesta evolució climàtica al llarg de l'Holocè ve en bona part determinada pels canvis d'insolació, és a dir, per una disminució progressiva de la radiació estival enregistrada a l'hemisferi nord i produïda pels canvis en la posició de l'òrbita terrestre (Berger, 1978). Aquesta reducció de la insolació es creu que va determinar el progressiu refredament de bona part de l'hemisferi en l'Holocè (Marchal *et al.*, 2002) però les diferències en magnitud i intensitat dels canvis indiquen l'operació en paral·lel de processos de retroalimentació amb diferents intensitats regionals (Renssen *et al.*, 2009). Aquests canvis d'insolació van tenir també un fort impacte en el règim de pluges tropical, subtropical i mediterrani. Al continent africà van marcar també l'esdeveni-

ment d'un període relativament humit a zones típicament desèrtiques en l'actualitat i que va tenir una forta incidència en el desenvolupament humà (Kropelin *et al.*, 2008).

És important remarcar que sobreposada a aquesta evolució general holocena també es van donar esdeveniments o oscil·lacions de curta durada (pocs segles). Aquestes oscil·lacions climàtiques holocenes han estat descrites a l'Atlàntic nord, associades amb la intensitat de l'activitat solar (Bond *et al.*, 2001). Els períodes relativament freds de major formació d'icebergs s'han correlacionat amb períodes de menor intensitat de l'activitat solar. Les últimes d'aquestes oscil·lacions semblen correspondre a la petita edat del gel i al període càlid medieval, dos períodes climàtics molt diferenciats a bona part del Nord d'Europa i amb una ampla documentació històrica. S'ha de dir que l'anàlisi de l'extensió d'aquests esdeveniments de l'Atlàntic nord a una escala global és problemàtica, i sembla que no va tenir un efecte homogeni, però sí que s'ha pogut contrastar que la variabilitat climàtica a escala de segles va ser un fet estès al planeta (Mayewski *et al.*, 2004). Al Mediterrani s'han pogut identificar oscil·lacions de l'ordre de 0,5-1 °C en les temperatures de les aigües superficials (Cacho *et al.*, 2001). També s'ha detectat que les taxes de ventilació del Mediterrani occidental, procés oceanogràfic molt lligat a la climatologia regional, van tenir diversos intervals d'acceleració, segurament associats a períodes menys plujosos que van augmentar el balanç evaporació-precipitació de la conca (Frigola *et al.*, 2007), tot i que resta per comprovar aquesta relació a partir de la correlació directa amb seqüències pol·líniques i altres indicadors hídrics terrestres. Els registres terrestres amb resolució suficient també indiquen oscil·lacions importants en les temperatures d'alta muntanya (Pla i Catalan, 2005); a les condicions hídriques del pre-Pirineu (Morellón *et al.*, 2008) i també del llac de Banyoles (Valero-Garcés *et al.*, 1998).

Val la pena ressaltar l'efecte d'alguns d'aquests esdeveniments centenaris holocens, particularment l'esdeveniment anomenat com el «8.2» fent referència a la seva edat centrada al voltant dels 8,2 ka BP (Alley *et al.*, 1997). Aquest esdeveniment és molt evident al registre de Grenlàndia, i

sembla que va tenir una expressió climàtica a bona part del planeta tot i que resta per explicar la seva relació inter-regional (Rohling i Palikey, 2005). Al context mediterrani té un senyal ben identificat als registres marins amb una fase de refredament i sobretot una intensa re-ventilació del fons del Mediterrani occidental (Cacho *et al.*, 2002; Frigola *et al.*, 2007) i també del Mediterrani oriental (Marino *et al.*, 2009), que s'ha associat amb la intensificació de vents del nord-oest a les conques mediterrànies del nord. Però en els registres terrestres no sempre es detecta aquest esdeveniment; de moment el senyal més clar sembla que es troba a zones pirenaïques com un període relativament fred i àrid (González-Sampériz *et al.*, 2006). Tot i que l'expressió del 8.2 als registres terrestres no sembla que fos particularment intensa, existeixen proves arqueològiques a la depressió de l'Ebre que indiquen que podria haver tingut un impacte molt significatiu en els assentaments neolítics de la regió. L'esdeveniment del 8.2 sembla coincidir amb el període conegut com el «silenci arqueològic» d'aquesta zona, moment en què es van abandonar la major part dels assentaments, apareixent de nou en zones de més altitud (González-Sampériz *et al.*, 2009). Aquesta relació entre períodes de relativa aridesa i refredament no és evident que es mantingués estacionària al llarg de l'Holocè. Cal un esforç per millorar les resolucions i les cronologies dels registres holocens i així poder establir millor els patrons regionals, però algunes evidències semblen indicar que alguns períodes d'aridesa no es van donar durant períodes de refredament, i fins i tot podrien estar associats a escalfaments relatius, i a l'inrevés. Un exemple es troba a la Petita Edat del Gel (100-650 anys BP, o del 1300-1850 de la nostra era o anys AD), període relativament fred, durant el que algunes glaceres del Pirineu van créixer sensiblement (Copons i Bordonau, 1994) i algunes evidències indiquen un augment en la freqüència d'inundacions catastròfiques a l'interior i al litoral català (Llasat *et al.*, 2003; Vallvé i Martín-Vide, 1998).

Conclusions

El clima ha estat variable al llarg de la història del planeta amb unes escales temporals variables. Destaquen en el passat més recent (durant

el Quaternari, 2,6 Ma) els canvis glacials-interglacials ocorreguts en milers-desenes de milers d'anys, i també els denominats canvis ràpids ocorreguts en centenars d'anys, fins i tot dècades. La història climàtica del planeta ha anat molt lligada a les variacions en les concentracions de CO₂ atmosfèric. Tot i que aquests canvis no sembla que hagin estat els causants inicials de la variabilitat climàtica passada, sí que hi ha diferents registres i models que indiquen que va ser un element clau amplificador de la intensitat de bona part de les grans transicions climàtiques. Els canvis de concentració de CO₂ atmosfèric estan molt ben quantificats al llarg dels últims cicles glacials-interglacials i actualment existeixen proves sòlides que situen l'origen d'aquests canvis a l'oceà, canvis oceanogràfics que van alterar el flux oceà-atmosfera de CO₂.

Catalunya, juntament amb la regió mediterrània, ha estat molt sensible als canvis climàtics del passat. Fins i tot sembla que l'expressió tèrmica d'alguns d'aquests canvis ha estat més intensa que la mitjana general. La variabilitat climàtica ràpida de l'últim període glacial, així com l'evolució de l'última desglaciació ha estat molt lligada amb l'evolució climàtica i oceanogràfica de la regió Nord-atlàntica. Canvis ràpids en aquesta regió han tingut una forta expressió en les temperatures i la hidrologia del context català. En general, tot i la limitació del registres pròpiament del territori català, sembla que els períodes de reducció en la intensitat de la circulació profunda de l'Atlàntic nord han estat associats amb períodes relativament freds i àrids en el marc català. Però aquesta relació no sembla que hagi estat igual per a tots els esdeveniments, particularment aquells produïts durant l'Holocè més recent. Aquesta observació és particularment rellevant perquè indicaria que canvis tèrmics i hidrològics al context mediterrani —i segurament català— no han tingut una relació estacional al llarg del temps. Fa falta encara una millor caracterització regional i estacional d'aquests canvis per identificar els processos responsables d'aquests patrons diferenciats, processos que poden ser de rellevància crítica per determinar l'evolució hídrica en el context de canvi climàtic actual i futur.

Referències

- ALLEY, R.B.; MAYEWSKI, P.A.; SOWERS, T.; [et. al.] (1997). «Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago». *Geology*, 25, p. 483-486.
- ANDERSON, R.F.; ALI, S.; BRADTMILLER, L.I. [et. al.] (2009). «Wind-Driven Upwelling in the Southern Ocean and the Deglacial Rise in Atmospheric CO₂». *Science*, 323, p. 1443-1448.
- BARKER, S.; DIZ, P.; VAUTRAVERS, M.J. [et. al.] (2009). «Interhemispheric Atlantic seesaw response during the last deglaciation». *Nature*, 457, p. 1097.
- BERGER, A.L. (1978). «Long-term variations of daily insolation in Quaternary climatic change». *J. Atmos. Sci.*, 35, p. 2362-2367.
- BERNER, R.A.; KOTHAVALA, Z. (2001). «GEOCARB III: A revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic time». *American Journal of Science*, 301, p. 182-204.
- BOND, G.; KROMER, B.; BEER, J. [et. al.] (2001). «Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene». *Science*, 294, p. 2130-2136.
- BROECKER, W.S. (2006). «Abrupt climate change revisited». *Global Planetary Change*, 54, p. 211.
- BURJACHS, F.; JULIÀ, R. (1994). «Abrupt Climatic Changes during the Last Glaciation Based on Pollen Analysis of the Abric Romani, Catalonia, Spain». *Quaternary Research*, 42, p. 308.
- CACHO, I.; GRIMALT, J.O.; CANALS, M. (2002). «Response of the western Mediterranean Sea to the rapid climatic variability that occurred during the last 50,000 years. A molecular biomarker approach». *Journal of Marine Systems*, 33-34, p. 253-272.
- CACHO, I.; GRIMALT, J.O.; CANALS, M. [et. al.] (2001). «Variability of the western Mediterranean Sea surface temperatures during the last 25,000 years and its connection with the northern hemisphere climatic changes». *Paleoceanography*, 16, p. 40-52.
- CACHO, I.; GRIMALT, J.O.; PELEJERO, C. [et. al.] (1999). «Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in the Alboran Sea paleotemperatures». *Paleoceanography*, 14, p. 698-705.
- CACHO, I.; GRIMALT, J.O.; SIERRO, F.J. [et. al.] (2000). «Evidence of enhanced Mediterranean thermohaline circulation during rapid climatic coolings». *Earth and Planetary Science Letters*, 183, p. 417-429.

- CACHO, I.; SHACKLETON, N.; ELDERFIELD, H. [et. al.] (2006). «Glacial rapid variability in deep-water temperature and ($\delta^{18}\text{O}$) from the Western Mediterranean Sea». *Quaternary Science Reviews*, 25, p. 3294-3311.
- CALVO, E.; PELEJERO, C.; LOGAN, G.A.; DECKKER, P.D. (2004). «Dust-induced changes in phytoplankton composition in the Tasman Sea during the last four glacial cycles». *Paleoceanography*, 19, p. 2020. DOI 10.1029/2003PA000992.
- CARRION, J.S.; FUENTES, N.; GONZALEZ-SAMPERIZ, P. [et. al.] (2007). «Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement». *Quaternary Science Reviews*, 26, p. 1455.
- COPONS, R.; BORDONAU, J. (1994). «La Pequeña Edad del Hielo en el Macizo de la Maladeta (alta cuenca del Esera, Pirineos Centrales)». A: MARTÍ BONO, C.; GARCÍA RUÍZ, J. *El Glaciarismo surpirenaico: nuevas aportaciones*. Logroño: Geoforma Ediciones, p. 111-124.
- CORNU, S.; PATZOLD, J.; BARD. [et. al.] (1993). «Paleotemperature of the last interglacial period based on $\delta^{18}\text{O}$ of *Strombus bubonius* from the western Mediterranean Sea». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 103, p. 1-20.
- CROWLEY, T.J. (1991). «Modeling pliocene warmth». *Quaternary Science Reviews*, 10, p. 275.
- CROWLEY, T.J.; BERNER, R.A. (2001). «PALEOCLIMATE: Enhanced: CO_2 and Climate Change». *Science*, 292, p. 870-872.
- DAVIS, B.A.S.; BREWER, S.; STEVENSON, A.C.; GUIOT, J. (2003). «The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data». *Quaternary Science Reviews*, 22, p. 1701.
- DECONTO, R.; POLLARD, D. (2003). «Rapid Cenozoic glaciation of Antarctica induced by declining atmospheric CO_2 ». *Nature*, 421, p. 245-249.
- DECONTO, R.M.; POLLARD, D.; WILSON, P.A. [et. al.] (2008). «Thresholds for Cenozoic bipolar glaciation». *Nature*, 455, p. 652.
- DICKENS, G.R. (1997). *Geology*.
- (2004). «Global change: Hydrocarbon-driven warming». *Nature*, 429, p. 513.
- DICKENS, G.R.; CASTILLO, M.M.; WALKER, J.C.G. (1997). «A blast of gas in the latest Paleocene: Simulating first-order effects of massive dissociation of oceanic methane hydrate». *Geology*, 25, p. 259-262.
- DICKENS, G.R.; O'NEIL, J.R.; REA, D.K.; OWEN, R.M. (1995). «Dissociation of Oceanic Methane Hydrate as a Cause of the Carbon Isotope Excursion at the End of the Paleocene». *Paleoceanography*, 10, p. 965.
- ELDRITT, J.S.; HARDING, I.C.; WILSON, P.A. [et. al.] (2007). «Continental ice in Greenland during the Eocene and Oligocene». *Nature*, 446, p. 176.
- ETHERIDGE, D.M.; STEELE, L.P.; LANGENFELDS, R.L.; FRANCEY, R.J. (1996). «Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO_2 over the last 1000 years from air in Arctic ice i firm». *J. Geophys. Res.*, 101, p. 4115-4128.
- FEELY, R.A.; SABINE, C.L.; LEE, K. [et. al.] (2004). «Impact of Anthropogenic CO_2 on the CaCO_3 System in the Oceans». *Science*, 305, p. 362-366.
- FISCHER, H.; WAHLEN, M.; SMITH, J. [et. al.] (1999). «Ice core records of atmospheric CO_2 around the last three glacial terminations». *Science*, 283, p. 1712-1714.
- FLETCHER, W.J.; SÁNCHEZ GOÑI, M.F. (2008). «Orbital and sub-orbital-scale climate impacts on vegetation of the western Mediterranean basin over the last 48,000 yr». *Quaternary Research*, 70, p. 451.
- FRIGOLA, J.; MORENO, A.; CACHO, I. [et. al.] (2008). «Evidence of abrupt changes in Western Mediterranean Deep Water circulation during the last 50 kyr: A high-resolution marine record from the Balearic Sea». *Quaternary International*, 181, p. 88-104.
- (2007). «Holocene climate variability in the Western Mediterranean Sea from a deep-water sediment record». *Paleoceanography*, 22, DOI 10.1029/2006PA001307.
- GANOPOLSKI, A.; RAHMSTORF, S. (2001). «Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model». *Nature*, 409, p. 153-158.
- GARCÍA-RUIZ, J.M.; VALERO-GARCÉS, B.L.; MARTÍ-BONO, C.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P. (2003). «Asynchronicity of maximum glacier advances in the central Spanish Pyrenees». *Journal of Quaternary Science*, 18, p. 61-72.
- GIBBARD, P.L.; HEAD, M.J.; WALKER, M.J.C., STRATIGRAPHY, T.S.O.Q. (2009). «Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma». *Journal of Quaternary Science*, 9999, n/a.
- GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; UTRILLA, P.; MAZO, C. [et. al.] (2009). «Patterns of human occupation during the early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event». *Quaternary Research*, 71, p. 121.

- GONZALEZ-SAMPERIZ, P.; VALERO-GARCÉS, B.L.; MORENO, A. [et. al.] (2006). «Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed by the El Portalet sequence». *Quaternary Research*, 66, p. 38.
- (2008). «Vegetation changes i hydrological fluctuations in the Central Ebro Basin (NE Spain) since the Late Glacial period: Saline lake records». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 259, p. 157.
- HARRISON, S.P.; DIGERFELDT, G. (1993). «European lakes as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators». *Quaternary Science Reviews*, 12, p. 233.
- HAUG, G.H.; GANOPOLSKI, A.; SIGMAN, D.M. [et. al.] (2005). «North Pacific seasonality and the glaciation of North America 2.7(thinsp)million years ago» 433, 821-825.
- HAUG, G.H.; TIEDEMANN, R. (1998). «Effect of the formation of the Isthmus of Panama on Atlantic Ocean thermohaline circulation». *Nature*, 393, p. 673-676.
- HAUG, G.H.; TIEDEMAN, R.; ZAHN, R.; RAVELO, A.C. (2001). «Role of Panama uplift on oceanic freshwater balance». *Geology*, 29, p. 207-210.
- HAYS, J.D.; IMBRIE, J.; SHACKLETON, N. J. (1976). «Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the ice ages». *Science*, 194, p. 1121-1132.
- HEMMING, S.R. (2004). «Heinrich events: Massive late pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint». *Reviews of Geophysics*, 42, RG1005. DOI 10.1029/2003RG000128.
- HERRERA, G.; CACHO, I. (en premsa).
- HILLAIRE-MARCEL, C.; DE VERNAL, A.; BILODEAU, G.; WEAVER, A. (2001). «Absence of deep-water formation in the Labrador Sea during the last interglacial period». *Nature*, 410, p. 1073 - 1077.
- HODELL, D.A.; WOODRUFF, F. (1994). «Variations in the Strontium Isotopic Ratio of Seawater during the Miocene: Stratigraphic and Geochemical Implications». *Paleoceanography*, 9, p. 405.
- HOLBOURN, A.; KUHN, W.; SCHULZ, M.; ERLKENKUSER, H. (2005). «Impacts of orbital forcing and atmospheric carbon dioxide on Miocene ice-sheet expansion». *Nature*, 438, p. 483.
- HUGHES, P.D.; WOODWARD, J.C. (2008). «Timing of glaciation in the Mediterranean mountains during the last cold stage». *Journal of Quaternary Science*, 23, p. 575-588.
- HUNTLEY, B.; PRENTICE, I. C. (1988). «July temperatures in Europe from pollen data, 6000 years before present». *Science*, 241, p. 687-690.
- IMBRIE, J.; BERGER, A.L.; SHACKLETON, N.J. (1993). «Role of orbital forcing: A two-million-year perspective». A: EDDY, J.A.; OESCHGER, H. [eds.] *Global Change in the perspective of the past*. John Wiley & Sons Ltd, p. 263-277.
- JALUT, G.; DEDOUBAT, J.J.; FONTUGNE, M.; OTTO, T. (2009). «Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact». *Quaternary International*, 200, p. 4.
- JIMÉNEZ SÁNCHEZ, M.; FARIAS ARQUER, P. (2002). «New radiometric and geomorphologic evidences of a last glacial maximum older than 18 ka in SW European mountains: the example of Redes Natural Park (Cantabrian Mountains, NW Spain)». *Geodinamica Acta*, 15, p. 93.
- KENNETT, J.P. (1977). «Cenozoic Evolution of Antarctic Glaciation, the Circum-Antarctic Ocean, and Their Impact on Global Paleooceanography». *J. Geophys. Res.*, 82, p. 3843.
- KIM, J.H.; RIMBU, N.; LORENZ, S.J. [et. al.] (2004). «North Pacific and North Atlantic sea-surface temperature variability during the Holocene». *Quaternary Science Reviews*, 23, p. 2141.
- KROPELIN, S.; VERSCHUREN, D.; LEZINE, A.M. [et. al.] (2008). «Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years». *Science*, 320, p. 765-768.
- LAMBECK, K.; CHAPPELL, J. (2001). «Sea-level change through the last glacial cycle». *Science*, 292, p. 679-686.
- LEA, D.W.; PAK, D.K.; SPERO, H.J. (2000). «Climate impact of late Quaternary equatorial Pacific sea surface temperature variations» *Science*, 8, p. 1719-1724.
- LEWIS, C.J.; McDONALD, E.V.; SANCHEZ, C. [et. al.] (2009). «Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and fluvial deposits on the Cinca and Gállego Rivers (NE Spain) based on OSL dating and soil stratigraphy». *Global and Planetary Change*, 67, p. 141.
- LISIECKI, L.E.; RAYMO, M.E. (2005). «A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic d18O records». *Paleoceanography*, 20, PA2007. DOI 10.1029/2005PA001164.
- (2007). «Plio-Pleistocene climate evolution: trends and transitions in glacial cycle dynamics». *Quaternary Science Reviews*, 26, p. 56.

- LLASAT, M.C.; RIGO, T.; BARRIENDOS, M. (2003). «The «Montserrat-2000» flash-flood event: a comparison with the floods that have occurred in the north-eastern Iberian Peninsula since the 14th century». *International Journal of Climatology*, 23, p. 453-469.
- LUNT, D.J.; FOSTER, G.L.; HAYWOOD, A.M.; STONE, E.J. (2008). «Late Pliocene Greenland glaciation controlled by a decline in atmospheric CO₂ levels». *Nature*, 454, p. 1102.
- MARCHAL, O.; CACHO, I.; STOCKER, T.F. [et al.] (2002). «Apparent long-term cooling of the sea surface in the Northeast Atlantic and Mediterranean during the Holocene». *Quaternary Science Reviews*, 21, p. 455-483.
- MARINO, G.; ROHLING, E.J.; SANGIORGI, F. [et al.] (2009). «Early and middle Holocene in the Aegean Sea: interplay between high and low latitude climate variability». *Quaternary Science Reviews*, 28, p. 3246-3262.
- MARTÍNEZ-GARCÍA, A.; ROSELL-MELÉ, A.; GEIBERT, W. [et al.] (2009). «Links between iron supply, marine productivity, sea surface temperature, and CO₂ over the last 1.1 Ma». *Paleoceanography*, 24.
- MARTRAT, B.; GRIMALT, J.; LOPEZ-MARTINEZ, C.; CACHO, I. [et al.] (2004). «Abrupt temperature changes in the Western Mediterranean over the last 250,000 years». *Science*, 306, p. 1762-1765.
- MAYEWSKI, P.A.; ROHLING, E.E.; CURT STAGER, J. [et al.] (2004). «Holocene climate variability». *Quaternary Research*, 62, p. 243.
- MIX, A.C.; BARD, E.; SCHNEIDER, R. (2001). «Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers (EPILOG)». *Quaternary Science Reviews*, 20, p. 627-657.
- MONNIN, E.; INDERMÜHLE, A.; DÄLLENBACH, A. [et al.] (2001). «Atmospheric CO₂ concentrations over last glacial termination». *Science*, 291, p. 112-114.
- MORELLÓN, M.; VALERO-GARCÉS, B.; MORENO, A. [et al.] (2008). «Holocene palaeohydrology and climate variability in northeastern Spain: The sedimentary record of Lake Estanya (Pre-Pyrenean range)». *Quaternary International*, 181, p. 15.
- MORELLÓN, M.; VALERO-GARCÉS, B.; VEGAS-VILARRÚBIA, T. [et al.] (2009). «Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: The Lake Estanya record (NE Spain)». *Quaternary Science Reviews*, 28, p. 2582.
- MORENO, A.; CACHO, I.; CANALS, M. [et al.] (2005). «Links between marine and atmospheric processes oscillating at millennial time-scale. A multi-proxy study of the last 50,000 yr from the Alboran Sea (Western Mediterranean Sea)». *Quaternary Science Reviews*, 24, p. 1623-1636.
- (2004). «Millennial-scale variability in the productivity signal from the Alboran Sea record, Western Mediterranean Sea». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 211, p. 205-219.
- (2002). «Saharan dust transport and high-latitude glacial climatic variability: the Alboran Sea record». *Quaternary Research*, 58, p. 318-328.
- NGRIP PROJECT MEMBERS (2004). «High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period». *Nature*, 431, p. 147-151.
- NONG, G.T.; NAJJAR, R.G.; SEIDOV, D.; PETERSON, W.H. (2000). «Simulation of ocean temperature change due to the opening of Drake Passage». *Geophys. Res. Lett.*, 27, p. 2689.
- OTTO-BLIESNER, B.L.; MARSHALL, S.J.; OVERPECK, J.T. [et al.] (2006). «Simulating Arctic Climate Warmth and Icefield Retreat in the Last Interglaciation». *Science*, 311, p. 1751-1753.
- OVERPECK, J.T.; OTTO-BLIESNER, B.L.; MILLER, G.H. [et al.] (2006). «Paleoclimatic Evidence for Future Ice-Sheet Instability and Rapid Sea-Level Rise». *Science*, 311, p. 1747-1750.
- PAGANI, M.; CALDEIRA, K.; ARCHER, D.; ZACHOS, J.C. (2006). «ATMOSPHERE: An Ancient Carbon Mystery». *Science*, 314, p. 1556-1557.
- PAGANI, M.; ZACHOS, J.C.; FREEMAN, K.H. [et al.] (2005). «Marked Decline in Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations During the Paleogene». *Science*, 309, p. 600-603.
- PALLÁS, R.; RODÉS, Á.; BRAUCHER, R. [et al.] (2006). «Late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: a critical review and new evidence from 10Be exposure ages, south-central Pyrenees». *Quaternary Science Reviews*, 25, p. 2937.
- PELEJERO, C.; CAIYO, E.; HOEGH-GULDBERG, O. (2010). «Paleo-perspectives on ocean acidification». *Trends in Ecology and Evolution*, 25, p. 332.
- PÉREZ-FOLGADO, M.; SIERRA, F.J.; FLORES, J.A. [et al.] (2003). «Western Mediterranean planktonic foraminifera events and millennial climatic variability during the last 70 kyr». *Marine Micropaleontology*, 28, p. 49-70.
- PÉREZ-OBOL, R.; JULIA, R. (1994). «Climatic Change on the Iberian Peninsula Recorded in a 30,000-Yr Pollen Record from Lake Banyoles». *Quaternary Research*, 41, p. 91.

- PETEET, D. (1995). «Global Younger Dryas?» *Quaternary International*, 28, p. 93-104.
- PETTIT, J. R.; BASILE, I.; LERUYUET, A. [et. al.] (1997). «Four climate cycles in Vostok ice cores». *Nature*, 387, p. 359-360.
- PLA, S.; CATALAN, J. (2005). «Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene». *Climate Dynamics*, 24, p. 263.
- PLAGNES, V.; CAUSSE, C.; GENTY, D. [et. al.] (2002). «A discontinuous climatic record from 187 to 74 ka from a speleothem of the Clamouse Cave (south of France)». *Earth i Planetary Science Letters*, 201, p. 87-103.
- RAYMO, M.; RUDDIMAN, W.F. (1992). «Tectonic forcing of late Cenozoic climate». *Nature*, 359, p. 117-122.
- RAYMO, M.E.; GRANT, B.; HOROWITZ, M.; RAU, G. H. (1996). «Mid-Pliocene warmth: stronger greenhouse and stronger conveyor». *Marine Micropaleontology*, 27, p. 313.
- RENSSEN, H.; SEPPE, H.; HEIRI, O. [et al.] (2009). «The spatial and temporal complexity of the Holocene thermal maximum». *Nature Geoscience*, 2, p. 411.
- RIDGWELL, A.; SCHMIDT, D.N. (2010). «Past constraints on the vulnerability of marine calcifiers to massive carbon dioxide release». *Nature Geosci*, 3, p. 196.
- ROHLING, E.J.; PALIKE, H. (2005). «Centennial-scale climate cooling with a sudden cold event around 8,200 years ago». *Nature*, 434, p. 975-979.
- ROYER, D.L. (2006). «CO₂-forced climate thresholds during the Phanerozoic». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, p. 5665.
- ROYER, D.L.; BERNER, R.A.; MONTANEZ, I.P. [et. al.] (2004). «CO₂ as a primary driver of Phanerozoic climate». *GSA Today*, 14, p. 4-10.
- SABINE, C.L.; FEELY, R.A.; GRUBER, N. [et. al.] (2004). «The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂». *Science*, 305, p. 367-371.
- SÁNCHEZ GOÑI, M.E.; CACHO, I.; TURON, J.L. [et al.] (2002). «Synchronicity between marine and terrestrial responses to millennial scale climatic variability during the last glacial period in the Mediterranean region». *Climate Dynamics*, 19, p. 95-105.
- SHACKLETON, N.J. (2000). «The 100,000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature, CO₂ and orbital eccentricity». *Science*, 289, p. 1897-1902.
- SIDDALL, M.; ROHLING, E.J.; ALMOGI-LABIN, A. [et al.] (2003). «Sea-level fluctuations during the last glacial cycle». *Nature*, 423, p. 853-858.
- SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T.F.; MONNIN, E. [et al.] (2005). «Stable Carbon Cycle-Climate Relationship During the Late Pleistocene». *Science*, 310, p. 1313-1317.
- SIERRO, F.J.; ANDERSEN, N.; BASSETTI, M.A. [et. al.] (2009). «Phase relationship between sea level and abrupt climate change». *Quaternary Science Reviews*, 28, p. 2867.
- SIERRO, F.J., HODELL, D.A.; CURTIS, J.H. [et. al.] (2005). «Impact of iceberg melting on Mediterranean thermohaline circulation during Heinrich events». *Paleoceanography*, 20. DOI 10.1029/2004PA001051.
- SIGMAN, D.E.; BOYLE, E.A. (2000). «Glacial/Interglacial variations in atmospheric carbon dioxide». *Nature*, 407, p. 859-869.
- SKINNER, L.C.; FALLON, S.; WAELEBROECK, C.[et al.] (2010). «Ventilation of the Deep Southern Ocean and Deglacial CO₂ Rise». *Science*, 328, p. 1147-1151.
- SPROVIERI, R.; DI STEFANO, E.; INCARBONA, A.; OPPO, D. W. (2006). «Suborbital climate variability during Marine Isotopic Stage 5 in the central Mediterranean basin: evidence from calcareous plankton record». *Quaternary Science Reviews*, 25, p. 2332.
- TOGGWEILER, J.R.; BJORNSSON, H. (2000). «Drake Passage and palaeoclimate». *Journal of Quaternary Science*, 15, p. 319-328.
- TOGGWEILER, J.R.; RUSSELL, J.L.; CARSON, S.R. (2006). «Midlatitude westerlies, atmospheric CO₂, and climate change during the ice ages». *Paleoceanography*, 21, PA2005. DOI 10.1029/2005PA001154.
- TRIPATI, A.K.; ROBERTS, C.D.; EAGLE, R.A. (2009). «Coupling of CO₂ and Ice Sheet Stability Over Major Climate Transitions of the Last 20 Million Years». *Science*, 326, p. 1394-1397.
- TZEDAKIS, P.C.; RAYNAUD, D.; MCMANUS, J.F [et al.] (2009). «Interglacial diversity». *Nature Geosci*, 2, p. 751.
- VALERO-GARCÉS, B.L.; ZEROUAL, E.; KELTS, K. (1998). «Arid phases in the western Mediterranean region during the last glacial cycle reconstructed from lacustrine records». A: BENITO, G [et al] *Paleohydrology and Environmental Change*, p. 67-80.
- VALIVÉ, M.B.; MARTÍN-VIDE, J. (1998). «Secular Climatic Oscillations as Indicated by Catastrophic Floods in the Spanish Mediterranean Coastal Area (14th–19th Centuries)». *Climatic Change*, 38, p. 473.
- VEIZER, J.; GODDERIS, Y.; FRANCOIS, L.M. (2000). «Evidence for decoupling of atmospheric CO₂ and global climate during the Phanerozoic eon». *Nature*, 408, p. 698-701.

- VISSER, K.; THUNELL, R.C.; STOTT, L.D. (2003). «Magnitude and timing of temperature change in the Indo-Pacific warm pool during deglaciation». *Nature*, 421, p. 152-155.
- WALKER, M. JOHNSEN, S.J.; RASMUSSEN, S.O. [et. al.] (2009). «Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records.» *Journal of Quaternary Science*, 24, p. 3-17.
- WARA, M.W.; RAVELO, A.C.; DELANEY, M.L. (2005). «Permanent El Nino-Like Conditions During the Pliocene Warm Period». *Science*, 309, p. 758-761.
- WATSON, A.J.; BAKKER, D. C. E.; RIDGWELL, A.J. [et. al.] (2000). «Effect of iron supply on Southern Ocean CO₂ uptake i implications for glacial atmospheric CO₂». *Nature*, 407, p. 730-733.
- ZACHOS, J.C. (2003). «A transient rise». *Science*, 302, p. 1551.
- ZACHOS, J.C.; DICKENS, G.R.; ZEEBE, R.E. (2008). «An early Cenozoic perspective on greenhouse warming i carbon-cycle dynamics». *Nature*, 451, p. 279.
- ZACHOS, J.C.; ROHL, U.; SCHELLENBERG, S.A. [et. al.] (2005). «Rapid Acidification of the Ocean During the Paleocene-Eocene Thermal Maximum». *Science*, 308, p. 1611-1615.

2. Els climes de Catalunya. Present i tendències recents

Javier Martín-Vide, Manola Brunet, Marc Prohom i Anna Rius

Javier Martín-Vide és catedràtic de Geografia Física a la Universitat de Barcelona, llicenciat en Ciències Matemàtiques i doctor en Geografia i Història, amb premi extraordinari. Expert en anàlisis probabilístiques de la precipitació, riscos climàtics, anàlisi sinòptica, clima urbà, i variabilitat i canvi climàtic, ha participat en els projectes europeus ADVICE, IMPROVE i COST-733. Va ser el primer president de l'Asociación Española de Climatología (1998-2004) i en l'actualitat és president de la *Asociación de Geógrafos Españoles*, del Consell Assessor del Servei Meteorològic de Catalunya, i del Comité espanyol del *World Climate Research Programme*, director del Grup de Climatologia de la UB, membre del Consell editorial del *International Journal of Climatology* i d'altres 10 revistes, membre del Consell de Direcció de l'Institut de l'aigua i codirector del Màster de Climatologia aplicada (UB). Va participar com a revisor expert al Quart informe de l'IPCC. Ha publicat 25 llibres i uns 300 articles i capítols de llibre. Premi ATLAS-2004 a la trajectòria professional exemplar, Premi Crítica Serra d'Or-2004 i Premi de l'ACAA-2008.

Manola Brunet India (Cariñena, Zaragoza, 1955) és professora titular de Geografia Física a la Universitat Rovira i Virgili (URV) de Tarragona, *Visiting Fellow* a la Climatic Research Unit de la School of Environmental Sciences de la University of East Anglia (Norwich, Regne Unit), directora del Centre en Canvi Climàtic de la URV al Campus de les Terres de l'Ebre, i presidenta del *Open Panel of CCI Experts 2 on Climate Monitoring and Analysis* (OPACE 2) de la Comissió de Climatologia (CCI) de l'Organització Meteorològica Mundial des del 2010. És experta en reconstrucció i anàlisi instrumental de la variabilitat i el canvi climàtic, incloent el desenvolupament de bases de dades climàtiques d'alta qualitat.

Marc Prohom i Duran (El Masnou, 1973) és llicenciat en Geografia per la Universitat de Barcelona (UB) i doctor en Geografia per la mateixa universitat, on realitzà el doctorat sobre la incidència de les grans erupcions volcàniques en el clima de la península ibèrica i les illes Balears. Durant els anys de gaudiment d'una beca predoctoral (1999-2002) realitzà diverses estades a centres de recerca estrangers: *Climatic Research Unit–University of East Anglia* (Norwich, Regne Unit) i *Climate System Research Center–University of Massachusetts* (Amherst, EEUU). Actualment és tècnic de l'àrea de climatologia del Servei Meteorològic de Catalunya, membre del Grup de Climatologia de la UB, i col·laborador de la secció de meteorologia de l'Observatori Fabra. La seva recerca es centra en l'estudi de la variabilitat climàtica a través de l'anàlisi de sèries climàtiques, en especial, la recuperació de registres antics, i l'anàlisi de la qualitat i homogeneïtat de les sèries.

Anna Rius i Ventosa (Barcelona, 1964) és llicenciada en Ciències Físiques per la Universitat de Barcelona. Va ser presentadora de l'espai «El Temps» a Televisió de Catalunya durant el període 1989-1997. Posteriorment la seva activitat professional va desenvolupar-se en el Servei de Meteorologia del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, embrió de l'actual Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). Des de l'any 2002 és la Cap de l'Àrea de Climatologia del Servei Meteorològic de Catalunya, responsable d'impulsar la creació i la gestió d'una base de dades meteorològiques de Catalunya. Ha endegat línies de treball per a una progressiva racionalització de les xarxes d'estacions meteorològiques gestionades per la pròpia Generalitat de Catalunya, així com també per millorar la qualitat de les dades meteorològiques. Impulsa i gestiona projectes amb l'objectiu de rescatar i preservar documents històrics d'interès climàtic i per digitalitzar noves dades instrumentals que permetin ampliar i millorar les sèries climàtiques disponibles a Catalunya.

Resum	43
2.1. La diversitat dels factors geogràfics i els climes de Catalunya	45
2.1.1. Introducció. El pes de la geografia	45
2.1.2. La singularitat climàtica derivada de la latitud subtropical i de la posició occidental	45
2.1.3. La influència del relleu	46
2.1.4. La dinàmica atmosfèrica general: la circulació de l'oest i l'estabilitat anticiclònica estival	47
2.1.5. L'oposició entre les masses d'aire polars i les tropicals	48
2.1.6. Els centres d'acció. La influència de l'anticicló de les Açores i de la NAO	48
2.1.7. El mosaic de climes de Catalunya	49
2.1.8. La precipitació	50
2.1.9. La temperatura i altres elements	52
2.2. L'observació meteorològica i les sèries climàtiques disponibles	53
2.2.1. L'observació meteorològica a Catalunya (del segle XVIII a l'actualitat)	53
2.2.2. Les sèries climàtiques disponibles a Catalunya	56
2.3. Canvis en l'estat mitjà del clima	57
2.3.1. Canvis en la temperatura	57
2.3.1.1. Canvi a llarg termini i contextualització espacial	57
2.3.1.2. Tendències recents de la temperatura a Catalunya	58
2.3.2. Canvis en la precipitació	61
2.3.2.1. Variacions i tendències de llarg recorregut i contextualització	61
2.3.2.2. Canvis recents en l'Observatori Fabra i en l'Observatori de l'Ebre	62
2.3.3. La insolació	64
2.4. Canvis en l'estat extrem del clima	64
2.4.1. Canvis a llarg termini en els extrems tèrmics i pluviomètrics i contextualització espacial	64
2.4.2. Canvis recents en els extrems tèrmics i pluviomètrics	67
Referències	69

Resum

La singular posició planetària de Catalunya, occidental en el context euroasiàtic, però a l'est de la península ibèrica, i el pes dels factors geogràfics, en particular la compartimentada orografia, fa que hi hagi un ric mosaic de climes i microclimes, tot i el caràcter mediterrani general de les seves comarques, excepte la Val d'Aran. La dinàmica atmosfèrica situa Catalunya a cavall entre el règim dels vents dominants de l'oest i sud-oest al nord, i els anticiclons subtropicals o tropicals al sud. El patró de variabilitat de baixa freqüència de la NAO, o dipol entre l'anticicló de les Açores i les baixes d'Islàndia, té aquí una influència atenuada. A l'hivern són importants altres pròpiament mediterranis.

Catalunya posseeix un ventall molt ampli de temperatures mitjanes, des dels 17 °C a prop de la desembocadura de l'Ebre fins a valors negatius als cims més elevats del Pirineu. La precipitació, amb mitjanes anuals que van des de menys de 400 mm, a les planes baixes de Lleida, fins a més de 1.250 mm, a certs indrets del Pirineu, presenta una elevada variabilitat i intensitat, i un sorprenent ventall de règims estacionals, amb màxims a la tardor, a la primavera i, fins i tot, en un àrea pirinenca i prepirinenca, a l'estiu. Catalunya disposa, de mitjana, entre 1.800 i 2.800 hores de sol anuals, motiu pel qual, doncs, l'energia solar és un recurs energètic destacat, igual com l'eòlica en aïgues comarques.

L'observació meteorològica sistemàtica a Barcelona arrenca a l'últim terç del segle XVIII (1780), de manera que la ciutat disposa de més de dos segles de registres diaris de pressió atmosfèrica i de temperatura. A la segona meitat del segle XIX s'institucionalitzà la meteorologia i aparegueren les primeres xarxes d'observatoris meteorològics, coordinades a nivell estatal per l'*Observatorio de Madrid*. L'any 1921 es va crear l'autònom Servei Meteorològic de Catalunya, que va donar un gran impuls a la meteorologia del país. Dissolt l'any 1939, el *Servicio Meteorológico Nacional*, estatal, va ser l'organisme oficial en meteorologia a Catalunya, amb la titularitat de la xarxa oficial d'estacions meteorològiques. A finals dels anys vuitanta

i durant els noranta, apareixen les estacions meteorològiques automàtiques (EMA). L'any 1996 es va crear el Servei de Meteorologia de Catalunya, embrió de l'actual Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), amb personalitat jurídica pròpia. D'aquesta manera, a Catalunya hi ha actualment dos organismes competents en meteorologia i climatologia, l'AEMet, o *Agencia Estatal de Meteorología*, i l'SMC. Es pot concloure que l'any 2010 Catalunya disposa d'una molt alta densitat de mesura termopluviomètrica, donada per 250 EMA oficials i per unes 220 estacions meteorològiques manuals o, d'una altra manera, per 470 punts pluviomètrics i 333 on s'hi efectua la mesura de la temperatura de l'aire, que pertanyen sobretot a l'AEMet i l'SMC.

A partir de les 13 millors sèries de temperatura de Catalunya del període 1950-2008, un cop verificada la seva qualitat i homogeneïtzades, es pot afirmar que la temperatura mitjana anual s'ha incrementat entre +0,18 °C/dècada i +0,23 °C/dècada, en funció de la sèrie analitzada. La distribució geogràfica de les tendències és força uniforme, tot i que les localitzades més al nord-est presenten les tendències positives menys marcades. La tendència envers l'augment tèrmic ha estat més evident sobre la temperatura màxima que sobre la temperatura mínima. Així, mentre la temperatura màxima augmenta a un ritme aproximat de +0,25 °C/dècada, la temperatura mínima ho fa a +0,17 °C/dècada. Tant per a les màximes com per a les mínimes, l'augment tèrmic apreciat és estadísticament significatiu en tots els casos. L'anàlisi estacional indica que l'estiu és l'estació que ha experimentat l'escalfament més marcat, amb un increment de la temperatura mitjana anual que se situa al voltant de +0,35 °C/dècada, mentre que la tardor és l'única època de l'any que no mostra una tendència estadísticament significativa (+0,13 °C/dècada). L'evolució temporal de la temperatura mitjana anual al conjunt de Catalunya en aquest mateix període (+0,21 °C/dècada), expressada com a anomalia respecte al període de referència 1961-1990, mostra un total domini d'anys amb valors

per damunt de la mitjana climàtica des de 1980 fins a l'actualitat.

Els estudis realitzats sobre l'evolució de la precipitació a Catalunya no mostren tendències clares, significatives i generals durant l'últim segle, ni tampoc a la seva segona meitat. L'únic tret clarament significatiu és una minva generalitzada de la precipitació al mes de març a llarg de la segona meitat del segle xx. L'anàlisi de l'evolució de la pluviometria anual i estacional a l'Observatori de l'Ebre (Roquetes), amb dades des de 1905, i l'Observatori Fabra (Barcelona), amb una sèrie que es remunta a 1914, no presenta cap tendència clara en el darrer segle. Així, els increments o dèficits pluviomètrics detectats no són estadísticament significatius.

La sèrie mitjana anual d'insolació de Catalunya, a partir de 6 punts de mesura en el període 1951-2004, mostra dos subperíodes amb un comportament clarament contrastat: 1951-1983, amb una clara davallada de la insolació, que marca al final el *global dimming*, o enfosquiment

global, i el 1984-2004, amb una tendència a l'alça nítida, que s'ha anomenat *brightening*. Les tendències parcials d'ambdós subperíodes són significatives, de -50,2 hores/dècada i de +109,4 hores/dècada, respectivament. Estacionalment, la primavera presenta l'augment d'insolació més clar des dels anys 80 del segle passat, amb una contribució destacada del mes de març.

L'anàlisi dels índexs d'extrems climàtics als observatoris de l'Ebre (1905-2008) i Fabra (1914-2008) mostren una disminució en la freqüència i durada dels períodes freds, un augmenten la freqüència, intensitat i durada dels períodes càlids, i un cert augment en la intensitat de la precipitació, és a dir, la precipitació anual es reparteix en menys dies, sense que això signifiqui que anualment s'acumuli menys precipitació.

En conjunt, els resultats de les tendències observades en les variables climàtiques a Catalunya estan en consonància amb el que reflecteix el Quart Informe d'avaluació de l'IPCC.

2.1. La diversitat dels factors geogràfics i els climes de Catalunya

2.1.1. Introducció. El pes de la geografia

Catalunya ocupa una posició planetària singular. D'una banda, està situada als confins occidentals del continent eurasiàtic i és relativament propera a Àfrica. De l'altra, no és gaire lluny de l'oceà Atlàntic, a ponent, però alhora té una àmplia façana de cara a la Mediterrània a llevant —el costat més llarg del triangle esquemàtic a què s'assembla Catalunya. En resum, es troba gairebé entre dos mars i dos continents. Per tant, en una cruïlla d'influències diverses i contraposades, tant marítimes com continentals. A més, la complexitat orogràfica del territori, amb una gamma notable d'altituds i diverses alineacions muntanyoses perifèriques, interfluvius i depressions, confereix a les terres catalanes uns trets climàtics propis, que modulen el joc entre les influències esmentades anteriorment, i molt variats, tenint en compte les seves reduïdes dimensions.

La situació latitudinal de bona part de Catalunya (excepte la Val d'Aran), junt amb la posició occidental que ocupa en el continent eurasiàtic, fan que tingui un clima mediterrani, que tècnicament és un clima subtropical de façana occidental o clima subtropical amb estiu sec. Climàticament, doncs, Catalunya està pinçada entre la zona de clima marítim temperat de la façana occidental, al nord, i la del desert tropical, al sud.

D'altra banda, la diversitat climàtica de Catalunya obliga sempre a utilitzar el plural —és a dir, a parlar de *climes*— quan la resolució espacial de l'anàlisi augmenta fins a una escala comarcal o supracomarcal. Els grans contrastos d'altitud i d'exposició (orientació i pendent) configuren un complex mosaic de climes i microclimes. El pes de la geografia (en el sentit més físic) en la climatologia de Catalunya és tan marcat que de vegades es fa difícil generalitzar trets climàtics vàlids per a tot el territori. En aquesta línia, cal apuntar que hi ha molts enclavaments de clima singular respecte a la regió on s'ubiquen (ombres pluviomètriques, illots plujosos, etcètera), els quals reflecteixen la diversitat dels factors geogràfics, especialment l'altitud, la dis-

posició del relleu i la relativa llunyania del mar, entre altres.

2.1.2. La singularitat climàtica derivada de la latitud subtropical i de la posició occidental

Catalunya s'emmarca en el feix latitudinal delimitat pels paral·lels 42° 53' 00" N (al nord de la Val d'Aran) i 40° 31' 23" N (al sud del Montsià). Són gairebé dos graus i mig de latitud o, el que és el mateix, aproximadament 260 kilòmetres d'amplada en la direcció del meridià. Es tracta d'un marc latitudinal fonamentalment mediterrani o subtropical, però en la franja més septentrional. Tant és així que les terres situades més al nord de Catalunya (bàsicament, la Val d'Aran) no tenen caràcter mediterrani, sinó que pertanyen a una altra tipologia climàtica: la dels climes d'influència marítima o oceànica de latituds mitjanes. Aquesta variació latitudinal comporta una variació petita, però gens negligible, de l'altura del sol sobre l'horitzó, amb la repercussió corresponent en la intensitat de la radiació solar que incideix sobre la superfície terrestre. A les terres més septentrionals de Catalunya, en el migdia astronòmic del dia del solstici d'estiu el sol assoleix una altura d'uns 70,6° sobre l'horitzó, i de 72,9° a l'extrem sud. En el solstici d'hivern assoleix una altura de 23,7° i 26,0°, respectivament. En una latitud intermèdia de Catalunya, com ara la de Barcelona, el dia dura 9 hores i 11 minuts en el solstici d'hivern i 15 hores i 11 minuts en el d'estiu. Conseqüentment, a qualsevol comarca catalana el període diürn té tot l'any una durada apreciable (ben al contrari del que succeeix en latituds elevades a l'hivern), tot i que la variació de l'estiu a l'hivern és marcada (a diferència del que passa en les latituds properes a l'equador). Així, a Catalunya la insolació és un recurs potencialment important en qualsevol època, malgrat que presenta un apreciable cicle anual.

La posició occidental de Catalunya en el continent eurasiàtic és manifesta. Com és sabut, les façanes occidentals dels continents d'aquesta franja latitudinal són més suaus que les oposades, o orientals. Els fluxos aeris generals de l'oest i del sud-oest, caracteritzats per la suavitat tèr-

mica, i, en el cas de la península ibèrica, la influència de les aigües càlides del corrent del Golf són factors que temperen el clima.

Tanmateix, Catalunya no entreveu el mar exclusivament per l'oest, sinó d'una manera molt més propera per llevant. Aquest fet, desconegut en altres regions del planeta amb climes de filiació mediterrània, confereix trets singulars al clima mediterrani de Catalunya, així com al de les regions espanyoles més properes a la Mediterrània. A gran part de Catalunya, els vents de l'oest són secs i al litoral i al prelitoral, a sotavent, poden bufar amb trets similars al *föhn*. En canvi, el vent de llevant és humit en la façana més exposada a la Mediterrània i sovint va acompanyat de nuvolositat abundant i de pluja.

La influència de la mar Mediterrània en una àmplia franja de terres catalanes —precisament, a la hipotenusa del triangle— és evident. No obstant això, aquesta influència no és nítida a mesura que es penetra a l'interior del país, a causa de l'existència d'un sistema orogràfic constituït per les serralades Litoral i Prelitoral, paral·leles a la línia costanera, que aïllen l'interior de la

influència marítima i li donen trets climàtics de continentalitat.

Finalment, convé aclarir que el caràcter mediterrani del clima de Catalunya no és sinònim de la influència que exerceix el mar. En el primer cas s'al·ludeix al seu caràcter subtropical, més clar com més al sud. En el segon, a les influències atmosfèriques del mar que hi ha a llevant de les seves terres (figura 1).

2.1.3. La influència del relleu

Catalunya té una altitud mitjana apreciable: la tercera part de la seva superfície està situada en una franja altitudinal compresa entre 600 i 1.000 metres, una dècima part es troba entre 1.000 i 2.000 metres i prop d'un 7% supera la cota de 2.000 metres. Es tracta d'unes altituds considerables, que condicionen fortament la temperatura. Si s'aplica el gradient tèrmic vertical mitjà a la troposfera, que és $-0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, la temperatura mitjana anual de Catalunya presenta una variació de més de 20°C a causa de la l'altitud. D'aquesta manera, si al nivell del mar a les costes catalanes la temperatura mitjana anual no di-

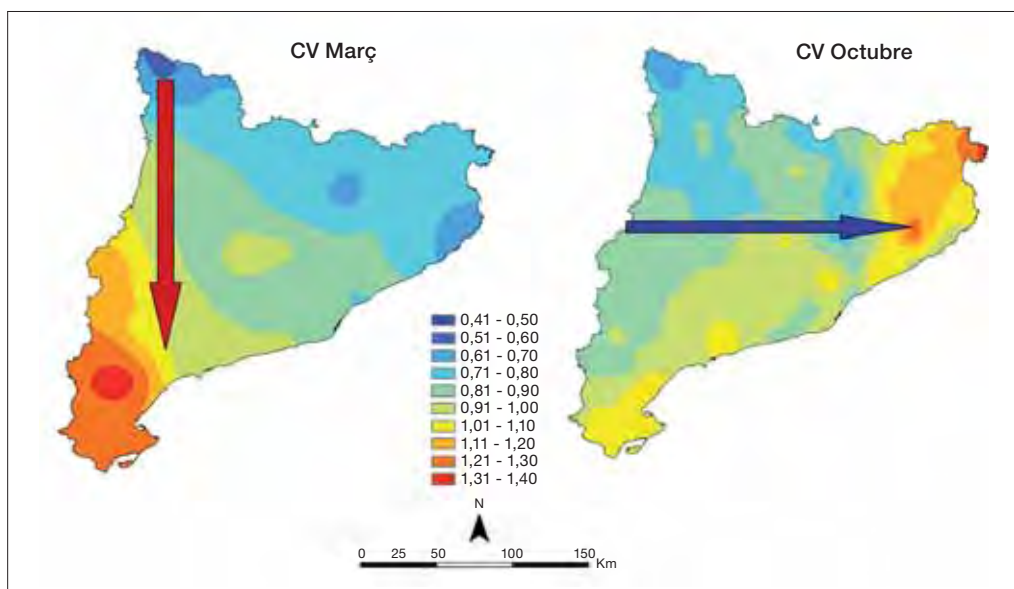


Figura 1. Exemple de les components de la mediterraneïtat (o subtropicalitat) (N-S) i de la Mediterrània (W-E). Valors del coeficient de variació de la precipitació de març i d'octubre. Al març la variabilitat pluviomètrica augmenta cap al sud; a l'octubre, cap a l'est.

Font: Cernocky et al., 2007.

fereix gaire de la mitjana planetària (15-17 °C), a les cotes més elevades del país, per sobre d'uns 2.500 metres d'altitud, i fins als 3.142 metres de la Pica d'Estats (el sostre del país), és negativa. En definitiva, doncs, Catalunya posseeix un ventall molt ampli de valors tèrmics, que es pot explicar per les diferències altitudinals.

La influència del relleu en el clima no es redueix a l'efecte del factor altitudinal, sinó també a la incidència de la disposició i de l'orientació de les alineacions muntanyoses, a l'amplada i a la robustesa d'aquestes i, a escala microclimàtica, als pendents.

Els elements del relleu de Catalunya més significatius pel que fa a la incidència en el clima, al marge de l'altitud, són els següents:

1. La presència d'una serralada elevada al nord —el Pirineu—, que marca clarament el límit septentrional del clima de caràcter subtropical (només la Val d'Aran, amb desguàs cap a l'oceà Atlàntic, sobrepassa la frontera climàtica) i protegeix el país de les masses d'aire fred procedents de latituds elevades.

2. L'estretor de la faixa de les terres baixes litorals i la presència d'un sistema muntanyós doble (serralades Litoral i Prelitoral), que limita la influència marítima directa a una franja costera reduïda i aïlla la Depressió Central catalana de la Mediterrània.

3. La compartimentació de la topografia, que compon un escaquer configurat per un conjunt de sectors elevats i per altres sectors topogràficament deprimits, fins i tot a la Depressió Central.

En termes generals dominen les alineacions muntanyoses amb orientació zonal o subzonal (SW-NE). Com a conseqüència d'això, els fluxos aeris de direcció nord o sud es troben amb un seriós obstacle. Així, les diferències entre els climes del nord i del sud són superiors a les que correspondria per la mera distància que els separa. En contrapartida, els cursos fluvials principals han excavat valls ortogonals a les alineacions del relleu. Això ha generat una nítida compartimentació de la topografia en depressions o valls limitades per serres o interfluvius, i, al mateix temps, s'observa una major diferenciació en les variables climàtiques i un augment dels tipus i

dels subtipus de climes, fet que dificulta la generalització quan es parla del clima de Catalunya. Per tot això, es requereix un gran nombre de punts d'observació meteorològica per abastar tota la diversitat climàtica del territori català.

Pel que fa a la continentalitat, s'hauria d'afegir que, atès que es tracta d'un mar gairebé tancat, les terres riberenques de la Mediterrània tenen un grau de continentalitat relativament alt, en comparació amb les costes atlàntiques. Així, per exemple, l'amplitud tèrmica mitjana anual de Barcelona —és a dir, la diferència entre les temperatures mitjanes dels mesos més càlid i més fred— és 15 °C, que és apreciablement superior a la de les costes gallegues, a l'Atlàntic, on l'amplitud tèrmica és només 10 °C, aproximadament.

2.1.4. La dinàmica atmosfèrica general: la circulació de l'oest i l'estabilitat anticiclònica estival

En qualsevol esquema de la circulació atmosfèrica general, és a dir, de l'organització dels grans sistemes de vent i de pressió a escala planetària, Catalunya se situa entre el règim de vents dominants de l'oest i del sud-oest (al nord) i el règim dels anticiclons subtropicals o tropicals (al sud). En el primer cas es tracta dels típics fluxos de ponent, atlàntics, que escombren bona part de l'Europa occidental des de les latituds del nord de la península ibèrica. El temps característic associat al sistema de vents dominants de l'oest, del nord-oest i del sud-oest és humit i inestable. El pas dels típics fronts i de depressions mòbils comporta l'agreuament més clar de les característiques esmentades. Amb certa freqüència, Catalunya també presenta el règim esmentat fora del trimestre estival, encara que a vegades ho fa amb un temps fins i tot oposat, sec, a causa de la seva situació a sotavent, protegida dels vents humits atlàntics per la península ibèrica.

A l'estiu, els anticiclons subtropicals, com el conegut anticicló de les Açores, dominen l'atmosfera a gran part de la península ibèrica, almenys en les capes mitjanes i altes de la troposfera. En canvi, a les superfícies continentals com la ibèrica o l'africana propera apareixen baixes pressions d'origen tèrmic. En tot cas, aquestes baixes pressions no arriben a alterar el patró típic de gran estabilitat associat als anticiclons. En el

cas de Catalunya no es pot parlar amb propietat de baixa tèrmica, però sí de pantà baromètric, és a dir, d'un camp bàsic superficial amb gradient molt escàs i valors propers als normals, característic dels mesos estivals.

Així, doncs, a gran part del territori ibèric l'estiu és sec o molt sec i assolellat, mentre que durant la resta de l'any l'afebliment o la retirada de les altes pressions subtropicals permet estratificacions de l'aire inestables i un dinamisme atmosfèric més important, amb fluxos d'aire de procedència diversa. Per tant, l'absència de pluges a l'estiu no és atribuïble a la proximitat de la Mediterrània, sinó a un tret de subtropicalitat, és a dir, a la instal·lació de la subsidència subtropical sobre les latituds peninsulars, que assoleix la culminació durant l'estiu. La Mediterrània és, potencialment, un àmbit generador o dinamitzador de processos d'inestabilitat atmosfèrica i de precipitacions, especialment a la tardor (Capel Molina, 2000; Martín-Vide i Olcina, 2001).

Els dos patrons descrits presenten una migració o pulsació estacional (a l'estiu cap al nord i a l'hivern cap al sud). D'aquesta manera s'explicaria que a l'estiu bona part de Catalunya quedi sumida en la dinàmica anticiclònica subtropical i que estigui sotmesa a unes condicions més variades la resta de l'any. Per tant, en l'estudi del canvi climàtic a Catalunya caldrà distingir, tant com sigui possible, l'hivern de l'estiu.

Tot això dona lloc a un ampli ventall de situacions sinòptiques (mapes del temps) i a uns tipus de temps diversos i contrastats.

2.1.5. L'oposició entre les masses d'aire polars i les tropicals

La franja latitudinal que abraça Catalunya és una àrea de contrast entre dos tipus de masses d'aire molt diferenciades, que clàssicament s'han anomenat *polars* i *tropicals*. Les primeres s'originen en latituds mitjanes-altes i les segones, en latituds mitjanes-baixes, i la frontera entre ambdues s'estableix al voltant del paral·lel 55° N. L'ondulació d'aquesta frontera, el *front polar*, dona lloc a les típiques borrasques frontals de latituds mitjanes o altes, amb els seus característics fronts fred i càlid. L'anomenada *regió font de les masses d'aire*, on aquestes s'originen a causa de l'estancament prolongat de l'aire sobre aquesta regió,

condiciona les seves característiques meteorològiques. En aquest sentit, les masses d'aire polars són fredes o fresques, i les tropicals són càlides. La pulsació estacional que experimenta el front polar (cap al sud a l'hivern i cap al nord a l'estiu) permet que les masses d'aire polars afectin la península Ibèrica i les terres properes amb força freqüència durant el semestre fresc o fred de l'any, mentre que a l'estiu les masses tropicals s'apropien de l'atmosfera sobre gran part del territori.

Resumint, les masses d'aire que afecten Catalunya són les següents: la polar marítima, freda (o fresca) i humida; la polar continental, freda i seca; la tropical marítima, càlida i humida; la tropical continental, càlida i seca; l'àrtica marítima, freda i humida; l'àrtica continental, «siberiana», molt freda i seca, i la mediterrània, suau i humida (Jansá, 1959; Martín-Vide i Olcina, 2001).

2.1.6. Els centres d'acció. La influència de l'anticicló de les Açores i de la NAO

El centre d'acció, és a dir, la cèl·lula anticiclònica o depressionària amb més influència sobre el conjunt del clima de Catalunya, és l'*anticicló de les Açores*, un dels grans anticiclons que formen l'anomenat *cinturó subtropical o tropical d'anticiclons* de l'hemisferi nord, que coincideix amb el rosari de grans deserts boreals planetaris (Sàhara, Àrabia, etcètera). La seva posició habitual, propera a l'arxipèlag de les illes Açores (lleugerament al sud d'aquestes illes), constitueix un obstacle considerable per a les pertorbacions atlàntiques que viatgen en el règim de vents de l'oest i del sud-oest, les quals es veuen obligades a desviar-se cap a latituds més altes que les ibèriques. Amb força freqüència, l'anticicló de les Açores fins i tot projecta una falca anticiclònica cap a la península ibèrica, de manera que la protegeix encara més de les depressions atlàntiques. A l'hivern, de vegades arriba a establir-se un pont anticiclònic sobre la península entre l'anticicló de les Açores i l'anticicló tèrmic centreeuropeu. El resultat de la presència de l'anticicló de les Açores és que bona part de la península ibèrica rep una precipitació relativament escassa, a la modèstia de la qual contribueixen també altres factors.

Altres configuracions bàriques que caracteritzen tipus de temps significatius a Catalunya són

les següents: les *borrasques d'Islàndia*, que guien amb rapidesa els fluxos i les depressions atlàntics cap al continent i constitueixen un dipol amb l'anticicló de les Açores; l'anomenada *Oscil·lació de l'Atlàntic Nord* o NAO (*North Atlantic Oscillation*), la qual té una incidència notable en el clima d'Europa occidental a l'hivern; les *depressions de Gènova o Ligúria*, uns desenvolupaments ciclogènics a sotavent dels Alps, sobretot a l'hivern; la *baixa del golf de Cadis*, que reflecteix sovint l'existència d'un embossament d'aire fred en altura al sud-oest de la península ibèrica; la *baixa d'Algèria*, un desenvolupament ciclogènic de la Mediterrània occidental, a sotavent de la serralada de l'Atlas, vinculat a condicions de forta inestabilitat en l'atmosfera degudes a la coincidència d'aire fred en les capes altes amb una capa inferior d'aire càlid mediterrani; la *baixa africana*, estival i de caràcter tèrmic, fruit de l'intens reescalfament del substrat saharià a l'estiu, que té un reflex en forma de prolongació, o tàlveg, o de baixa tèrmica —sovint només relativa— cap a l'interior de la península ibèrica en les hores centrals dels dies calorosos i està associada a un temps calorós i caliginós, i, finalment, l'*anticicló centreeuropeu*, també de naturalesa tèrmica, fruit del refredament superficial del centre i de l'est d'Europa a l'hivern, que comporta un temps fred, sovint amb boires, a l'interior del país i que reforça les característiques continentals del clima (Martín-Vide i Olcina, 2001).

Dos dels patrons de variabilitat de baixa freqüència, o teleconnexions, que tenen més incidència, sobretot hivernal, a Catalunya són la NAO i l'*Oscil·lació de la Mediterrània Occidental* o WeMO (*Western Mediterranean Oscillation*). La fase positiva del patró atlàntic s'estableix quan hi ha una gran diferència de pressió en superfície entre les Açores o l'Atlàntic subtropical proper a la península Ibèrica i a Islàndia, a causa de la presència de pressions altes en aquest arxipèlag i de baixes a Islàndia o a l'Atlàntic subpolar veí. En aquest cas, les latituds mitjanes-altes d'Europa reben precipitacions abundants, ja que s'estableix un règim vigorós de l'oest, els fluxos humits i les depressions del qual escombren les terres europees esmentades. En canvi, bona part de la península ibèrica, en especial el centre i el sud-oest, rep quantitats de pluja clarament infe-

rior a les normals, a causa de la proximitat de l'anticicló de les Açores.

Durant la fase negativa de la NAO s'inverteixen els valors de pressió, i la diferència baromètrica normalitzada entre les Açores i Islàndia és negativa a causa de la desaparició de l'anticicló de les Açores i, simultàniament, a causa de la presència de valors de pressió relativament alts a Islàndia. En aquest cas, el nord d'Europa experimenta un període d'escassetat de pluges, mentre que a l'extrem sud-oest del continent europeu les precipitacions solen ser abundants i sovint estan associades a depressions properes al golf de Cadis. En el cas de Catalunya, el patró NAO té una influència relativament modesta en la precipitació, a causa de la posició a sotavent de la península Ibèrica. A la costa catalana, la correlació de la precipitació hivernal amb l'índex NAO és negativa i molt dèbil ($-0,3$ per a Barcelona, al desembre, durant el segle xx). Només en terres lleidatanes la correlació negativa és estimable, amb valors per sota de $-0,5$ (Martín-Vide i Fernández, 2001).

La WeMO consisteix en el dipol format, en la seva fase positiva, per l'anticicló de les Açores i la baixa de Ligúria i, en la negativa, per la baixa del golf de Cadis i l'anticicló centreeuropeu, unes configuracions que aporten a Catalunya vents terrals de component nord en el primer cas i marítims de component est en el segon. D'aquesta manera, la precipitació al litoral català presenta una correlació negativa amb l'índex WeMO, sovint més bona que la que ofereix la NAO (Martín-Vide i Lopez-Bustins, 2006).

En resum, a efectes climàtics, les terres catalanes constitueixen un espai singular, amb influències múltiples (tropicals i polars, atlàntiques i mediterrànies) i amb trets regionals i locals diversos, com a conseqüència de les influències del relleu i d'altres factors geogràfics, que produeixen temps variats i climes diversos, tot i el predomini dels de filiació mediterrània.

2.1.7. El mosaic de climes de Catalunya

La realitat climàtica de Catalunya és molt rica i variada. La taula 1 recull una classificació climàtica pel que fa al territori català. Consta de tres nivells, el primer dels quals l'estableix la divisió fonamental, a escala planetària, entre el clima

mediterrani i l'oceànic de latituds mitjanes. El segon nivell l'estableixen les cinc unitats fisiogràfiques bàsiques de Catalunya: Pirineu, Prepirineu, Depressió Central, Prelitoral i Litoral. Finalment, una tercera subdivisió o subtipus la proporciona la divisió interna de les unitats fisiogràfiques esmentades. En definitiva, doncs, es tracta de dos grans grups climàtics, que donen lloc a sis tipus i a quinze subtipus, definits per variables pluviomètriques i tèrmiques: la precipitació mitjana anual (*P*), el règim pluviomètric estacional (*RPE*), la temperatura mitjana anual (*T*) i l'amplitud tèrmica mitjana anual (*T*) (Martín-Vide, 1992a).

La complexitat climàtica del territori català, passada i present, s'erigeix en un element de notable dificultat a l'hora d'establir i d'avaluar els canvis actuals i, especialment, les previsions futures. Atesa la complexitat geogràfica del territori i el ric mosaic de tipus i subtipus climàtics de Catalunya, no es pot esperar que en el futur la resposta sigui igual a tot el país, sinó que cal esperar matisos i contrastos. De totes maneres, la superfície reduïda del país convida a pensar en un únic escenari futur, que tanmateix serà complex a causa de la diversitat geogràfica del territori. Així, les tendències tèrmiques molt probablement seran coincidents a tot el territori, amb

diferents taxes de variació, però algunes pautes pluviomètriques, entre les quals el règim estacional, es podrien modificar en direccions diferents en el futur segons els àmbits espacials.

2.1.8. La precipitació

En aquest apartat i en el següent es resumeixen els valors principals de les variables climàtiques i la seva distribució espacial a Catalunya, a partir d'atles climàtics de Catalunya (Ninyerola *et al.*, 2001; Martín-Vide i Raso, 2003) i de Geografies (Martín-Vide, 1992a, 1992b).

La variable *precipitació* és la més destacada en el cas de Catalunya, per la relativa modèstia i l'elevada variabilitat de la pluja al país, la qual cosa li confereix una importància climàtica i econòmica de primer ordre, per sobre d'altres variables climàtiques. En el marc de la península ibèrica, Catalunya presenta una precipitació mitjana anual allunyada dels extrems més plujós i més sec. El mapa pluviomètric anual de Catalunya dibuixa una àrea humida (amb més de 700 mm de precipitació) que comprèn, a l'oest del Llobregat, una mica més del terç nord del país, des del Montsec i bona part del Solsonès i del Berguedà fins a la frontera francesa. A l'est del Llobregat, la isohieta dels 700 mm trenca la seva direcció general oest-est girant cap al sud fins a arribar a

Grups/tipus		Subtipus (exemple)	P (mm)	RPE	T (°C)	ΔT (°C)
OCEÀNIC		Val d'Aran (Arties)	900-1.100	Equilibrat	6-10	13-15
M E D I T E R R A N I	Pirinenc	Oriental (Núria)	1.000-1.200	Màxim a l'estiu i mínim a l'hivern	3-9	13-16
		Occidental (Cabdella)	1.000-1300		2-9	
	Prepirinenc	Oriental (Olot)	850-1.100	Màxim a l'estiu o a la primavera i mínim a l'hivern	9-12	16-19
		Central (Berga)	750-1.000			
		Occidental (La Pobla de Segur)	650-900			
	Continental	Humit o Oriental (Vic)	700-850	Mínim a l'hivern	11-13	17-20
		Subhumit o Central (Súria)	550-700		12-14	
		Sec o Occidental (Lleida)	350-550	Màxims equinoccials		
	Prelitoral	Septentrional (Girona)	750-1.000	Màxims equinoccials	14-15	15-18
		Central (Terrassa)	600-900	Màxim a la tardor	11-15	
		Meridional (Prades)	600-800	Màxims equinoccials	12-14	
	Litoral	Septentrional (St. Feliu de Guíxols)	550-750	Màxim a la tardor	14,5-16	14-15
		Central (Barcelona)	550-700		14,5-16,5	
		Meridional (Tarragona)	500-600		15,5-17	

Taula 1. Classificació climàtica de Catalunya.
Font: Javier Martín Vide, «El clima», a: Geografia general dels Països Catalans, Barcelona, Enciclopèdia Catalana, 1992a.

Sant Llorenç del Munt i, cap a l'est, fins al Montseny, i arriba a la costa del Maresme a través del Montnegre, a tall d'una dorsal pluviomètrica submeridiana. Fora d'aquesta àrea hi ha nuclis que superen el llindar esmentat, especialment els Ports de Beseit. De la mateixa manera, en l'interior es poden observar algunes ombres pluviomètriques molt vistoses, com a l'Alt Urgell (la Seu d'Urgell) i al Pallars Sobirà (Esterrí d'Àneu), a la Noguera Pallaresa i als seus afluents.

L'àrea més seca queda ben delimitada per la isohieta dels 500 mm, que forma un triangle amb un dels costats recolzat a la divisòria administrativa amb Aragó, abraça les planes de Lleida fins a sectors de la Segarra i es prolonga fins a la cubeta de Móra.

Els registres disponibles actualment no permeten localitzar amb una seguretat absoluta quin és l'indret o el sector més plujós de Catalunya. La capçalera del riu Flamisell i la divisòria d'aigües de les conques hidrogràfiques de la Noguera Pallaresa, la Noguera Ribagorçana i la Garona són alguns dels sectors més plujosos del país, tal com evidencien els observatoris de Cabdella i de l'estany Gento, amb precipitacions mitjanes anuals properes a 1.250 mm. El sector Moixeró-Puigmal també assoleix aquests valors, tal com apunta l'estació de la Molina. Aquest valor de precipitació no és especialment destacat en el context dels Pirineus, les parts central i occidental dels quals, fora de Catalunya, són més humides. Cal indicar, també, que l'òptim pluviomètric amb l'alçada, és a dir, el nivell altitudinal que registra una precipitació mitjana més elevada, s'ha de situar entre uns 800 i uns 1.100 metres a la Serralada Prelitoral i a prop d'uns 1.000 metres més amunt al Pirineu lleidatà. A partir de 2.000 metres d'altitud, aproximadament, la precipitació no augmenta al nord de Catalunya. En el costat més oposat, el punt més sec de Catalunya sí que es pot localitzar amb més precisió: no deu ser gaire lluny de la confluència del Segre amb el Cinca, al sud-oest de Lleida.

Una de les variables pluviomètriques amb més influència ambiental i socioeconòmica és el règim pluviomètric estacional, és a dir, el repartiment mitjà de la precipitació per estacions. En aquest cas, la diversitat del territori català es pot

qualificar d'extraordinària. Amb la possibilitat de permutar les estacions de vint-i-quatre maneres diferents (4 factorial), a Catalunya es donen ni més ni menys que vuit d'aquestes ordenacions, atenant a l'ordenació decreixent de les seves mitjanes pluviomètriques (figura 2):

1. Tres règims amb màxim tardorenc (tardor-primavera-hivern-estiu o TPHE, TPEH i THPE), presents al litoral i al prelitoral.
2. Tres règims amb màxim de primavera (PTEH, PTHE i PETH), principalment al sector occidental de la Depressió central.
3. Dos règims amb màxim estival (EPHT i ETPH), a bona part del Pirineu i del Prepirineu, que es prolonguen fins a la plana de Vic.

Fins i tot, a la Val d'Aran hi ha un règim que es podria anomenar *equilibrat*, ja que la precipitació es reparteix regularment entre les quatre estacions. Els règims amb màxim estival, que es combinen amb un mínim hivernal, suposen una inversió completa del ritme característic del clima mediterrani, per la qual cosa convé utilitzar adjectius com *submediterrani* o altres adjectius alternatius per qualificar-los.

Probablement, una de les qüestions més complexes que es planteja a Catalunya és com el canvi climàtic pot afectar els règims pluviomètrics estacionals, a causa de la seva diversitat actual.

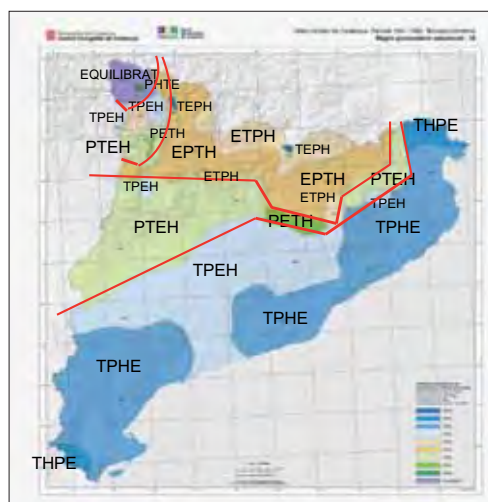


Figura 2. Règims pluviomètrics estacionals (vegeu el text). Font: Martín-Vide i Raso, 2003.

Cal pensar, a més, que conques hidrogràfiques com la del Llobregat o la del Ter, vitals pel que fa al subministrament d'aigua a ciutats i àrees metropolitanes molt poblades, mostren un comportament hídric estacional compensat, ja que els màxims estivals de les seves capçaleres contribueixen a l'estabilitat dels cabals de la resta de la conca, que presenta una estació seca estiuenca. Una modificació d'aquests patrons, certament equilibrats, comportaria una alteració notable dels recursos hídrics disponibles en el repartiment temporal.

A Catalunya, les sèries temporals disponibles sobre la freqüència de la precipitació (o nombre de dies de precipitació) són de dubtosa homogeneïtat. En tot cas, es pot indicar que el nombre mitjà anual de dies de precipitació apreciable ($\geq 0,1$ mm) va des de poc més de 50 a la confluència del Segre i el Cinca i a l'embassament de Riba-roja fins a uns 125 a la Val d'Aran. El nombre mitjà anual de dies amb neu, molt sensible a l'augment de temperatura, va des d'1 al litoral del Baix Ebre i del Montsià fins a més de 50 als cims del Pirineu de Lleida.

Els valors de la innivació, tant en quantitat com en freqüència, molt probablement experimentaran un canvi significatiu com a conseqüència de l'escalfament climàtic global i regional. Això no significarà, però, la desaparició de les grans nevades, però sí un descens en la importància que té la neu en una part del territori.

La coneguda variabilitat pluviomètrica elevada del clima mediterrani queda perfectament reflectida a Catalunya, ja que el coeficient de variació anual de la precipitació supera el llinar del 20% a tot el país (si s'exceptua la Val d'Aran), la qual cosa precisament avala descartar aquesta comarca de l'àmbit climàtic mediterrani. Aquests valors són indicatius d'una pluviometria en què les mitjanes resulten poc significatives o, en altres paraules, la pluja és un recurs amb un notable grau d'incertesa pel que fa al volum mitjà. Cal indicar, a més, que a les terres del litoral meridional el coeficient de variació anual arriba a assolir el 40% (és el cas, per exemple, de l'Ametlla de Mar), la qual cosa situa el Baix Ebre entre els territoris amb una pluviometria anual més variable de la península ibèrica, comparable a la d'algun sector del sud-est peninsular.

La intensitat de la precipitació és una altra de les variables més importants en el clima mediterrani. Els elevats valors que presenta obliguen a considerar les precipitacions torrencials com un dels riscos climàtics més notables en aquest tipus de clima. Les sèries disponibles permeten distingir les franges litoral i prelitoral, així com certs sectors del Pirineu, com les àrees catalanes on la precipitació mostra intensitats instantànies i minutals més altes, amb puntes superiors a 5 mm/min durant alguns aiguats de tardor i tempestes estivals. Amb una resolució diària, pràcticament cada any se superen els 100 mm en algun observatori, i s'han arribat a ultrapassar els 400 mm en una única jornada.

2.1.9. La temperatura i altres elements

Sens dubte, i malgrat els importants contrastos en els valors a causa de les diferències altitudinals, a Catalunya la temperatura és una variable molt més fàcil de regionalitzar que la precipitació. La mitjana anual es podria deduir raonablement d'un model de regressió múltiple amb tan sols dues variables independents: l'altitud i la latitud. En un altre ordre de coses, la latitud mitjana de les terres catalanes imposa un contrast tèrmic clar al llarg de l'any. Encara que sembli obvi, cal dir que és la temperatura la que defineix les estacions climàtiques a Catalunya, a diferència del que succeeix en latituds baixes. En termes generals, a Catalunya l'estiu és calorós, si s'exceptuen els cims pirinencs, i l'hivern és moderadament rigorós (i fins i tot suau al litoral).

La isoterma anual dels 14 °C distingeix la franja més càlida —les terres baixes del litoral i del prelitoral—, que es prolonga per la vall de l'Ebre fins a la Depressió Central (l'Urgell i el Segrià). En contrapartida, la isoterma dels 10 °C rodeja les terres més fredes —pirinenques i prepirinenques—, així com els cims del Montseny. Les previsions globals i regionals d'increment tèrmic per a l'horitzó de l'any 2100 ampliarien molt la superfície del territori català amb mitjanes anuals superiors a 14 °C i disminuiria sensiblement la dels sectors amb menys de 10 °C, independentment de l'escenari d'emissions.

L'amplitud tèrmica mitjana anual (o diferència entre les temperatures mitjanes dels mesos més càlid i més fred), que és un veritable índex de

continentalitat, presenta valors realment elevats a l'àrea occidental de la Depressió central catalana i a la conca de Tremp, ja que assoleix aproximadament 20°C, no gaire lluny dels valors més elevats de la península ibèrica. Al litoral, un valors propers a 15°C denoten una influència marítima atenuada, en comparació amb l'efecte de l'oceà en altres costes ibèriques, que és fruit de les característiques pròpies de la Mediterrània, una mar semitamada.

El nombre mitjà anual de dies de gelada és molt reduït a la costa catalana, notable a la Depressió central i elevat als sectors més alts del país. L'escalfament global i regional comportarà, amb un marge de dubte molt petit, una disminució general del risc de gelades.

Altres elements climàtics, com la insolació, la nuvolositat, la humitat de l'aire, la velocitat i la direcció del vent, compten amb registres relativament escassos a Catalunya, fet que en dificulta la conversió en sèries autènticament climàtiques, és a dir, llargues, homogènies i fiables. Catalunya disposa, de mitjana, d'entre 1.800 i 2.800 hores de sol anuals, per la qual cosa l'energia solar és un recurs energètic destacat. Els extrems nord-oriental i sud-occidental de Catalunya, a causa de la tramuntana i del mes-tral, respectivament, així com els cims més elevats del Pirineu, són àrees ventoses, amb algunes ratxes de velocitat màxima absoluta d'uns 200 km/h.

2.2. L'observació meteorològica i les sèries climàtiques disponibles

2.2.1. L'observació meteorològica a Catalunya (del segle XVIII a l'actualitat)

Les primeres observacions meteorològiques al Principat van unides al moviment de la Il·lustració, un moment d'eclosió intel·lectual i científica que s'inicià a mitjan segle XVIII i del qual Catalunya, en especial la ciutat de Barcelona, no en va restar al marge. El pensament il·lustrat cercava la visió global i interdisciplinària de les ciències, un enfocament més obert a les ciències naturals i menys tradicional i ortodox. En aquest marc, diversos metges, físics, farmacèutics, matemàtics, etcètera, centraren els seus estudis en l'anàlisi dels fenòmens atmosfèrics i en la necessitat de

disposar de registres sistemàtics i continus per comprendre'ls.

En aquest context, el doctor Francesc Salvà i Campillo realitzà durant quaranta-vuit anys, de 1780 a 1827, observacions diàries amb instruments instal·lats al seu domicili, al carrer de Petritxol de Barcelona. Efectuava tres observacions diàries, a les sis o les set del matí, a les dues de la tarda i a les onze de la nit, i prenia anotacions de la temperatura de l'aire, la pressió atmosfèrica, el règim de vents, l'estat del cel i la humitat relativa de l'aire (aquesta darrera observació fou incorporada més tard) (figura 3). Continua la tasca el seu deixeble Pere Vieta i Gibert, des d'un altre emplaçament, a la seu del *Diari de Barcelona* (carrer de la Llibreteria, 22). Vieta instal·là els instruments en les mateixes condicions que havia consignat Salvà i seguí escrupolosament la mateixa metodologia que aquest fins a 1854, quan el metge J. R. Campaner, probablement des del carrer del Carme, continuà les observacions fins a 1876. També a Barcelona, gairebé coetàniament, el matemàtic Llorenç Presas inicià observacions meteorològiques l'any 1848, i no les abandonà fins al 1874, pocs mesos abans de morir.

A mitjan segle XIX, aquestes lloables iniciatives individuals deixaren pas a la progressiva institucionalització de les observacions meteorològiques, i aparegueren les primeres i incipients xarxes d'observatoris meteorològics, coordinades a nivell estatal per l'Observatorio de Madrid. Així fou com s'iniciaren les observacions a la Universitat de Barcelona el gener de 1855, primer des de la seva ubicació al carrer del Carme i, posteriorment, des de la plaça de la Universitat. En el darrer terç del segle XIX aparegueren altres punts d'observació, tot i que sense arribar a constituir una veritable xarxa d'observatoris. En són bons exemples els casos de Balaguer, amb dades de 1862 a 1868, de Vilert-Banyoles (des de 1867), de Tortosa (des de 1880), d'Igualada (des de 1881) o de Mataró (des de 1884).

El primer pas ferm per a la creació d'una xarxa catalana d'observatoris no s'efectuà fins a final de 1893, quan el director de la Granja Experimental de la Diputació Provincial de Barcelona, Hermenegildo Gorria, exposà la necessitat d'augmentar el nombre d'estacions meteorològi-

Figura 3. Imatge escanejada del primer full de les taules meteorològiques elaborades pel doctor Salvà corresponents al gener de 1780.

Font: Francesc Salvà, Taules meteorològiques. 1780-1824, 3 vol., Arxiu de la Reial Acadèmia de Medicina (ARAM).

ques en benefici de l'agricultura. Així fou com nasqué, l'any 1895, la Xarxa Meteorològica de Catalunya i Balears, amb un total de catorze observatoris inicials, que arribaren a ser una cinquantena, i amb la col·laboració inestimable del doctor Eduard Fontserè i de la mateixa Diputació provincial. Al tombant de segle, les dificultats econòmiques de la institució impediren la consolidació i l'ampliació de la xarxa. Afortunadament, però, Rafael Patxot, un conegut mecenes i observador de l'Observatori Català de Sant Feliu de Guíxols, va recollir el testimoni i el repte de continuar els treballs i va crear la Xarxa Pluviomètrica Catalana. Sota el seu mecenatge, la xarxa es va anar enfortint fins a assolir el nombre gens menyspreable d'una seixantena d'estacions a final de la dècada de 1910. En aquest context, l'any 1910 es fundà la Sociedad Astronómica de Barcelona, una entitat que cercava la divulgació popular de les ciències astronòmica i meteorològica. Un any més tard, aquesta entitat es féu càr-

rec de la xarxa impulsada per Patxot i, amb la col·laboració de l'Observatorio Central Meteorológico, va ampliar el nombre d'observatoris fins a 224 a final de 1918 (Prohom, 2006), bona part dels quals eren exclusivament pluviomètrics. A l'inici de la dècada de 1920, nous problemes de finançament forçaren la dissolució de l'entitat, però la creació per la Mancomunitat de Catalunya del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) l'any 1921 va impedir l'estroncament de la xarxa ja creada. Durant els seus més de disset anys de vida, l'antic Servei va donar un impuls extraordinari a la meteorologia a Catalunya i, amb alguns dels seus treballs, de gran valor científic, va adquirir un important prestigi internacional. Mitjançant les *Notes d'estudi* es publicaren els reculls pluviomètrics dels observatoris catalans, que ja eren prop de 350 a final de 1934, i la seva activitat es va mantenir fins a l'entrada de les tropes franquistes a Barcelona, el gener de 1939, al final de la guerra civil espanyola. L'SMC va

quedar suprimit i tot el fons material i documental fou confiscat i passà a formar part del fons documental del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dependent del Ministerio del Aire. Des d'aleshores, el manteniment i l'ampliació de la xarxa oficial d'estacions meteorològiques depengué completament i exclusivament de l'SMN. Pel que fa al cas català, les estacions es distribuïren en dues xarxes i dos centres: depenien de Saragossa les estacions situades a la conca de l'Ebre, i de Barcelona les dels Pirineus orientals (o conques internes). Després del descens en el nombre d'estacions associat al període de la guerra civil i de la postguerra, el nombre d'estacions augmentà progressivament i assolí un valor màxim cap a la dècada de 1980, quan s'apropà a 350 estacions manuals pluviomètriques, dues-centes de les quals eren alhora termomètriques. L'any 1978 es reestructurà l'antic SMN, que passà a denominar-se *Instituto Nacional de Meteorología* (INM), i es va preveure l'existència dels Centros Meteorológicos Territoriales. L'any 1979 s'establiren les seus d'aquests centres i es delimità el territori en regions meteorològiques d'acord amb els límits naturals definits per les grans conques hidrogràfiques, els quals van ser de nou redefinits l'any 1982. No va ser fins a l'any 1992 que s'establí el nom i la demarcació de quinze centres, amb una delimitació geogràfica que coincidí en molts casos amb la divisió administrativa de les comunitats autònomes, i Barcelona esdevingué la seu del corresponent Centro Meteorológico Territorial de Cataluña. En la mateixa època, a final dels anys vuitanta i durant els anys noranta del segle passat, apareixen i proliferen a Catalunya les Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA), com a resposta a una nova realitat social. Es normalitza l'accés en temps real a molta informació i s'abarateixen notablement els equips que constitueixen les EMA i els sistemes de comunicació remota. L'INM va instal·lar en aquell període una dotzena d'EMA a Catalunya. D'altra banda, en consonància amb la consolidació de la democràcia i l'ampliació de l'autogovern català, neix simultàniament en diversos departaments de la Generalitat de Catalunya la necessitat de disposar de dades meteorològiques, amb la qual cosa s'instal·laren a Catalunya més de 200 punts de mesura meteorològica automàtica, gestionats

de manera independent i amb finalitats ben diferents (agronòmica, forestal, vigilància i prevenció de la contaminació atmosfèrica, gestió energètica, estudi del risc d'allaus, etcètera). A més, durant la mateixa dècada i amb un interès hidrològic, també es posen en funcionament al territori els Sistemes Automàtics d'Informació Hidrològica (SAIH) i s'estableix una xarxa addicional d'unes 120 estacions pluviomètriques. En la mateixa dècada, l'any 1996, el Consell Executiu de la Generalitat de Catalunya creà el Servei de Meteorologia de Catalunya, embrió de l'actual Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), que es va dotar de personalitat jurídica pròpia amb l'aprovació de la Llei 15/2001, de 14 de novembre, de meteorologia, i va recuperar el nom oficial anterior a l'abolició de l'any 1939. Durant la primera dècada del segle XXI, l'SMC ha tingut la funció de racionalitzar les diverses xarxes precedents gestionades des de la Generalitat de Catalunya i les ha agrupat totes en una única xarxa anomenada XEMA (Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques), integrada en la Xarxa d'Equiptaments Meteorològics de la Generalitat de Catalunya (XEMEC). Més recentment, l'any 2008 es va crear l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMet), que assumí les competències de l'antic INM. Des de l'any 2003 fins a l'actualitat, els dos organismes competents en meteorologia i climatologia a Catalunya, l'AEMet i l'SMC, efectuen anualment un intercanvi de dades meteorològiques de les estacions respectives que gestionen, però les polítiques diferents de subministrament de dades a tercers que segueixen han conduït a una situació de desplegament independent de les xarxes respectives. Pel que fa a estacions automàtiques, la XEMA disposa avui de 165 punts de mesura de diferents variables meteorològiques, amb sistemes de mesura i procediments de control de qualitat de dades homogenis, als quals caldrà sumar els cinquanta pluviòmetres operatius actualment a les conques internes del SAIH i una petita xarxa d'onze punts amb mesura de la radiació solar que estan pendants d'integrar-s'hi. D'altra banda, l'AEMet també ha augmentat el nombre d'EMA al territori, ja que actualment en gestiona unes trenta. Pel que fa a les xarxes d'estacions manuals, en primer lloc és important remarcar la importància cabdal de la tasca d'ob-

servació diària, la qual permet donar continuïtat a les sèries d'observacions de meteors i de registres que són d'interès per a l'estudi de la variabilitat climàtica del nostre país, i cal assenyalar que algunes variables meteorològiques no queden cobertes per les prestacions actuals de la major part d'EMA. L'AEMet disposa avui d'unes 200 estacions manuals. L'any 2009, per tal d'ampliar la disponibilitat i el tipus d'informació que l'SMC necessita per poder desenvolupar les tasques que li pertoquen, tant en matèria de predicció i de vigilància meteorològica com per al coneixement i la caracterització del clima de Catalunya, s'ha creat la Xarxa d'Observadors Meteorològics, XOM, que té avui un centenar d'observadors i vuitanta estacions manuals, la major part de les quals són també col·laboradores de l'AEMet. Així, es pot concloure que l'any 2010 Catalunya disposa d'una altíssima densitat de mesura termopluiomètrica, facilitada per 250 EMA oficials i per unes 220 estacions meteorològiques manuals o, expressant-ho d'una altra manera, per 470 punts pluviomètrics i 333 punts de mesura de la temperatura de l'aire. En definitiva, un gran potencial d'informació per a l'estudi de la variabilitat climàtica en el futur.

2.2.2. Les sèries climàtiques disponibles a Catalunya

En el camp de l'observació meteorològica, Catalunya disposa d'un ampli bagatge científic, tant pel nombre de punts d'observació com per la cobertura temporal de les sèries meteorològiques que se'n deriven, les quals són la base per poder constituir les sèries climàtiques que s'utilitzaran en l'estudi del clima.

Malauradament, la disponibilitat d'aquesta informació no és sempre fàcil i evident, ateses les circumstàncies històriques patides pel nostre país durant el segle xx i la inexistència d'un únic organisme que s'hagi encarregat de recollir i de concentrar tot aquest material d'una manera efectiva i sistemàtica. Com a conseqüència, la informació meteorològica en forma de sèries és sovint incompleta, escapçada, es troba dispersa en diferents fonts i arxius i, en el pitjor dels casos, s'ha perdut.

Per aquest motiu, un pas previ a l'anàlisi i a l'estudi de les sèries cal que consideri forçosa-

ment la localització, la identificació, la preservació i la digitalització de la informació generada pels diferents observatoris al llarg de la seva història, per millorar així la qualitat i la completeness de les sèries meteorològiques. Aquesta feixuga tasca limita sovint la disponibilitat real i final de les sèries, tot i que en els darrers anys s'està fent un esforç des de diverses institucions i centres de recerca per tal d'augmentar el coneixement i el nombre de sèries disponibles. En aquest sentit, actualment l'SMC està duent a terme un esforç per detectar i completar les sèries de dades meteorològiques existents a Catalunya i per generar una Base de Dades Meteorològiques de Catalunya de qualitat i oberta a tothom.

Pel que fa al tipus de variables meteorològiques mesurades, bona part de les sèries disponibles a Catalunya són termomètriques i, sobretot, pluviomètriques. El motiu d'aquest predomini de les observacions pluviomètriques per damunt de qualsevol altra rau probablement en un conjunt de factors: el baix cost econòmic de l'instrumental, les poques exigències en relació amb les condicions d'instal·lació i l'elevada variabilitat del règim pluviomètric del nostre país, que requereix una densa cobertura espacial d'observatoris. Malgrat tot, també hi ha sèries d'altres variables meteorològiques, tant d'observació instrumental (com ara pressió atmosfèrica, evaporació, velocitat i direcció del vent o insolació) com no instrumental (estat del cel, meteors o visibilitat), per bé que tenen una cobertura temporal i espacial molt més esparsa. Mentre que Catalunya disposa de més d'un centenar de sèries pluviomètriques, les sèries de temperatura no arriben a la cinquantena i les de pressió atmosfèrica i d'insolació voregen la desena, fent referència en tots els casos a sèries que assoleixen uns criteris mínims de qualitat i una cobertura temporal àmplia.

D'altra banda, abans de procedir a l'anàlisi de les sèries i d'extreure'n d'una manera efectiva el senyal climàtic, són necessàries certes actuacions. En primer lloc, cal efectuar una *anàlisi de la qualitat* de les dades, per detectar possibles valors erronis que poden tenir l'origen en el mateix moment de la presa de l'observació o en processos posteriors (per exemple, en la digitalització de la informació quan es fa el pas del suport en paper al suport digital). Igualment, és essencial realitzar

un estudi de l'homogeneïtat de les sèries. Així, es considera que una sèrie és homogènia quan les tendències o les variacions observades són conseqüència únicament de factors climàtics.

Tant en el procés de control de la qualitat com en el d'anàlisi de l'homogeneïtat esdevé cabdal el coneixement de la *metadada* d'una sèrie, és a dir, l'historial d'incidències que l'hagi pogut afectar, com ara els canvis d'ubicació o d'exposició dels instruments, els canvis en el tipus d'instrumental, l'alteració en les tècniques d'observació, etcètera.

Un cop finalitzat el procés, només aquelles sèries que presenten una bona cobertura temporal i una qualitat i una homogeneïtat provades poden ser emprades sense reserves com a definidores de l'evolució climàtica d'una regió.

2.3. Canvis en l'estat mitjà del clima

La constatació d'una tendència significativa envers un increment o un decrement en els valors mitjans d'un determinat element climàtic esdevé un primer símptoma de canvi climàtic. En aquest sentit, l'evolució a llarg termini de la temperatura mitjana o de la precipitació acumulada en un determinat interval de temps (mensual, estacional, anual, etcètera) esdevenen indicadors prou útils i de fàcil comprensió.

2.3.1. Canvis en la temperatura

2.3.1.1. Canvi a llarg termini i contextualització espacial

Des de principi de la dècada de 1980 es va reprendre l'interès per documentar l'evolució de la temperatura global mitjançant la utilització de registres tèrmics d'alta qualitat i d'homogeneïtat provada. Diferents grups de científics van recopilar i analitzar en una base anual, estacional i mensual les sèries tèrmiques més llargues i creïbles existents arreu del planeta, per tal d'analitzar l'evolució de la temperatura de l'aire al llarg del període instrumental (aproximadament, de 1850 en endavant). L'equip liderat pel professor Phil Jones, director de la Climatic Research Unit de la School of Environmental Sciences de la Universitat d'East Anglia (Norwich, Regne Unit), va ser el pioner en la compilació i en l'anàlisi de les sèries més llargues de la temperatura arreu del

planeta (Jones *et al.*, 1982, 1985, 1986, 1999; Jones i Moberg, 2003; Broham *et al.*, 2006). Les corbes hemisfèriques i globals elaborades van documentar fefaentment l'escalfament global, i aquestes reconstruccions han estat a bastament utilitzades pels diferents informes del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC, en les sigles en anglès). Les avaluacions de l'IPCC dels anys 1990, 1995, 2001 i 2007 es fan ressò d'aquests i d'altres estudis com a proves de la deriva tèrmica recent i del caràcter *inequívoc* de l'escalfament global observat (IPCC, 2007). Altres grups de científics (Hansen i Lebedeff, 1987, 1988; Hansen *et al.*, 1999; Peterson *et al.*, 1999; Vinnikov *et al.*, 1990; Lugina *et al.*, 2005), a partir d'altres bases de dades i d'altres tècniques d'homogeneïtzació, d'interpolació espacial i d'estimació de tendències diferenciades van arribar a resultats similars, la qual cosa dóna encara més solidesa a la realitat de l'escalfament global (Jones, 2001).

Malauradament, l'escassa disponibilitat de sèries llargues de la temperatura de l'aire que tinguessin una qualitat suficient i una homogeneïtat provada va entorpir i va retardar les reconstruccions de l'evolució tèrmica a escales més petites que la global, com ara a escala regional, subregional o nacional. En el cas espanyol no serà fins a la dècada de 1990 que es produeixin les primeres aportacions que tendeixen a documentar el canvi de la temperatura de l'aire en el conjunt espanyol (Oñate i Pou, 1996) o en algunes de les regions de la península ibèrica (Esteban-Parra *et al.*, 1995). I no serà fins a la primera dècada del segle XXI que s'incrementi lleugerament el nombre d'estudis per documentar el canvi a llarg termini de la temperatura a Espanya (Esteban-Parra *et al.*, 2003; Brunet *et al.*, 2002, 2006, 2007a i 2008) i a diferents regions peninsulars: Catalunya (Brunet *et al.*, 2001a-b), Aragó (Abaurrea *et al.*, 2001), Castella i Lleó (Morales *et al.*, 2005), Castella-la Manxa (Galán *et al.*, 2001) i Múrcia (Horcas *et al.*, 2001).

Tots aquests estudis indicaren la realitat de l'escalfament a escala espanyola i mostraren una evolució i unes tendències tèrmiques temporals similars. De l'estudi de Brunet *et al.* (2007a), utilitzat pel Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en la primera fase del projecte per a la generació

regionalitzada d'escenaris de canvi climàtic per a Espanya (Brunet *et al.*, 2007b), es desprenen els trets característics del canvi a llarg termini de les temperatures a Espanya. En aquest estudi es representà per primer cop l'evolució tèrmica conjunta de l'Espanya peninsular, mitjançant la creació d'una corba regional d'anomalies tèrmiques (diferències respecte d'un període base o de referència climàtica: 1961-1990) i seguint la metodologia descrita per Jones i Hulme (1996), que descompon els valors de qualsevol variable climàtica en els seus dos components bàsics: la climatologia i la anomalia, juntament amb l'aplicació de llur aproximació per estimar sèries regionals del clima.

Tal com es representa i es recull en l'informe de l'MMA (Brunet *et al.*, 2007b) i tal com es descriu en l'estudi de Brunet *et al.* (2007a), l'evolució tèrmica espanyola dels darrers 150 anys mostra una clara tendència a l'escalfament, amb una taxa de canvi anual de $0,10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ per al període 1850-2005 ($0,13\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ per al període 1901-2005), la qual gairebé duplica la taxa estimada a escala global per al segle *xx* ($0,07\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$). Ara bé, aquesta tendència no és lineal, ja que l'escalfament no s'ha produït d'una manera monòtona o gradual, sinó que ha estat modulats per fases de comportament tèrmic diferenciat, similars a les experimentades en escales més grans (global i hemisfèriques). Des de les fredes dècades de la segona meitat del segle *xix*, el segle *xx* arrancà amb una fase d'increment tèrmic moderat que s'allargà fins a final de 1940. A partir d'aquí, fins a principi de la dècada de 1970 les temperatures espanyoles es van estancar i es van reduir d'una manera no significativa, i l'any 1973 s'inicià un increment tèrmic fort i sostingut, sense precedents en el registre instrumental espanyol. En aquesta intensa fase d'increment tèrmic recent (1973-2005), l'escalfament s'ha accelerat, amb una tendència de $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$, que gairebé arriba a triplicar la taxa global ($0,17\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$). A més a més, totes les estacions de l'any s'han escalfat a llarg termini (tant per al període 1850-2005 com per al segle *xx*), amb taxes de canvi similars (aproximadament, $0,10$ i $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ en cada cas), però amb el recent període de clima forçat antròpicament (IPCC, 2007) la primavera i l'estiu ho han fet a un ritme molt més alt ($0,77$ i $0,67\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$,

respectivament) que no pas l'hivern ($0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$) i la tardor ($0,29\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$).

L'escalfament evidenciat en les sèries d'anomalies de la temperatura mitjana diària ha estat més influenciat, a llarg termini, pel fort increment de les temperatures màximes que per l'augment que han experimentat les temperatures mínimes. En efecte, si s'examina l'evolució de les temperatures mitjanes de les màximes i de les mínimes diàries, ha estat l'increment de les temperatures màximes, més fort, el que ha modulats l'increment tèrmic espanyol a llarg termini, tant per al conjunt del període instrumental com, particularment, per al segle *xx* ($0,17$ i $0,09\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$, per a les màximes i les mínimes, respectivament). No obstant això, aquest escalfament diürn diferencial s'ha suavitzat en el període recent de fort increment tèrmic, ja que les taxes de canvi de les dues variables han estat gairebé idèntiques ($0,51\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ per a les màximes i $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ per a les mínimes). S'han reportat resultats similars en espais veïns de Catalunya: a l'Aragó, per Abaurrea *et al.* (2001); a França, per Abarca del Río i Mestre (2006), i a Itàlia, per Brunetti *et al.* (2006), que són indicatius d'un patró d'escalfament diürn similar per a la Mediterrània occidental.

2.3.1.2 Tendències recents de la temperatura a Catalunya

La temperatura és una variable que, per les característiques que té, permet una bona regionalització de la seva evolució temporal, encara que es disposi d'un nombre de sèries no gaire ampli.

El Servei Meteorològic de Catalunya elabora un *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics* (BAIC) que presenta la tendència dels valors mitjans de la temperatura. El *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics*. Any 2008, consultable al web www.meteo.cat, mostra en un dels apartats la tendència de la temperatura mitjana a Catalunya des de 1950 fins a 2008 a partir de l'anàlisi de les dades procedents de tretze observatoris (taula 2). La seva distribució espacial, tot i no ser òptima, recull força bé la diversitat climàtica del país, ja que inclou tant els àmbits costaners i del prelitoral com les àrees de clima més continental i de muntanya.

Els resultats il·lustren que la temperatura mitjana anual s'ha incrementat a tots els indrets

Sèrie climàtica	Municipi/Comarca	Cobertura temporal
Observatori de l'Ebre	Roquetes / el Baix Ebre	1950-2008*
Observatori Fabra	Barcelona / el Barcelonès	1950-2008*
El Pont de Suert	El Pont de Suert / l'Alta Ribagorça	1950-2008
Vielha	Vielha e Mijaran / la Val d'Aran	1950-2008
Figueres	Figueres / l'Alt Empordà	1950-2008
Girona	Girona / el Gironès	1950-2008
Moià	Moià / el Bages	1950-2008
Cardedeu	Cardedeu / el Vallès Oriental	1952-2008
Aeroport de Barcelona	El Prat de Llobregat / el Baix Llobregat	1951-2008
Aeroport de Reus	Reus / el Baix Camp	1952-2008
Lleida	Lleida / el Segrià	1950-2008
Flix	Flix / la Ribera d'Ebre	1950-2008
Tivissa	Tivissa / la Ribera d'Ebre	1950-2008

Taula 2. Sèries climàtiques de temperatura utilitzades i període d'anàlisi (tot i que les dues sèries marcades amb un asterisc disposen de més anys de dades, per a l'estudi s'escollí el període comú 1950-2008).

analitzats de manera significativa des de 1950 fins a l'actualitat. L'increment es fixa en una forquilla que oscil·la entre $+0,18\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ i $+0,23\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$, en funció de la sèrie analitzada (figura 4). La distribució geogràfica de les tendències és força uniforme i únicament es podria assenyalar que les sèries localitzades més al nord-est presenten les tendències positives menys marcades.

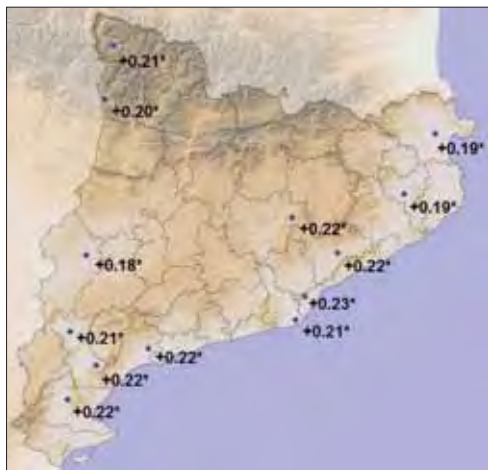


Figura 4. Tendència de la temperatura mitjana anual per al període 1950-2008, expressada com a increment de la temperatura per dècada. L'asterisc al costat del valor numèric indica que l'increment és estadísticament significatiu, amb un nivell de confiança del 95% (segons el test de Mann-Kendall). Font: Servei Meteorològic de Catalunya, Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics, 2008.

La mateixa anàlisi, però aplicada a la temperatura màxima i mínima mitjana anual, indica que en aquest període més recent, tal com s'indicava anteriorment, la tendència envers l'augment tèrmic ha estat més evident en la temperatura màxima que en la mínima (figura 5). Així, mentre la temperatura màxima augmenta a un ritme aproximat de $+0,25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$, la temperatura mínima ho fa a $+0,17\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$. Tant per a les màximes com per a les mínimes, l'augment tèrmic apreciat és estadísticament significatiu en tots els casos. L'anàlisi estacional indica que l'estiu és l'estació que ha experimentat l'escalfament més marcat, amb un increment de la temperatura mitjana anual que se situa al voltant de $+0,35\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$, mentre que la tardor és l'única època de l'any que no mostra una tendència estadísticament significativa ($+0,13\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$).

Amb la idea de presentar l'evolució temporal de la temperatura mitjana per al conjunt de Catalunya en aquest mateix període, s'ha obtingut la figura 6 a partir dels valors mitjans anuals de les tretze sèries indicades, expressats com a anomalia respecte al període de referència 1961-1990. S'hi observa un clar predomini d'anys amb aquesta temperatura mitjana anual global per damunt de la mitjana climàtica, fet que es manifesta d'una manera més evident i sostinguda des de 1980 fins a l'actualitat. Només la dècada de 1970 presenta uns quants anys consecutius amb anomalies negatives de temperatura més o menys generalitzades. La tendèn-

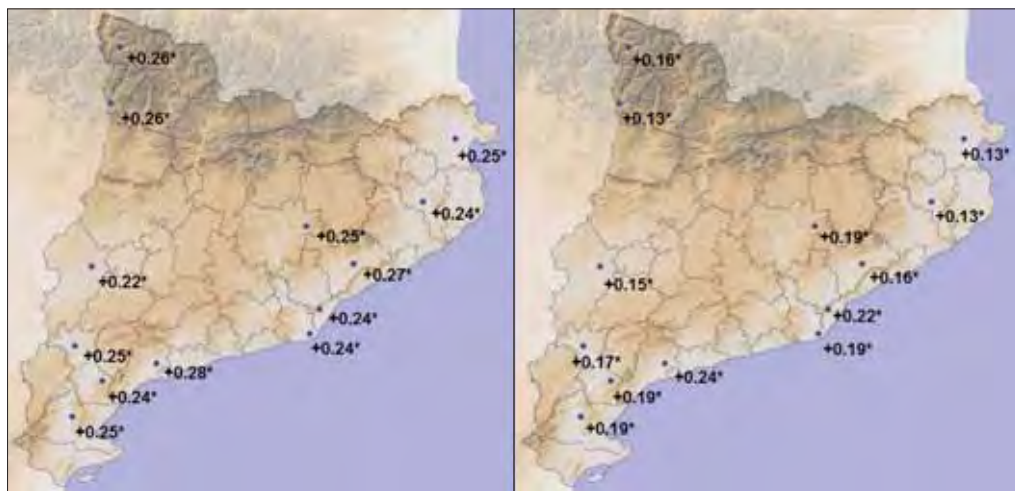


Figura 5. Tendència de la temperatura màxima (a) i mínima (b) mitjana anual, per al període 1950-2008, expressada com a increment de la temperatura per dècada. L'asterisc al costat del valor numèric indica que l'increment és estadísticament significatiu, amb un nivell de confiança del 95% (segons el test de Mann-Kendall).

Font: Servei Meteorològic de Catalunya, Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics, 2008.

cia de la temperatura mitjana anual global a Catalunya per al període 1950-2008 queda fixada, amb aquest procediment, en $+0,21$ °C/dècada i els límits de confiança inferior i superior al 95% són $+0,13$ °C/dècada i $+0,29$ °C/dècada (segons el test

de Mann-Kendall). Aquestes conclusions estan en consonància amb la pauta global i hemisfèrica, així com amb les conclusions d'altres estudis de característiques similars en l'àmbit geogràfic proper (Martínez *et al.*, 2010; Brunet *et al.*, 2008).

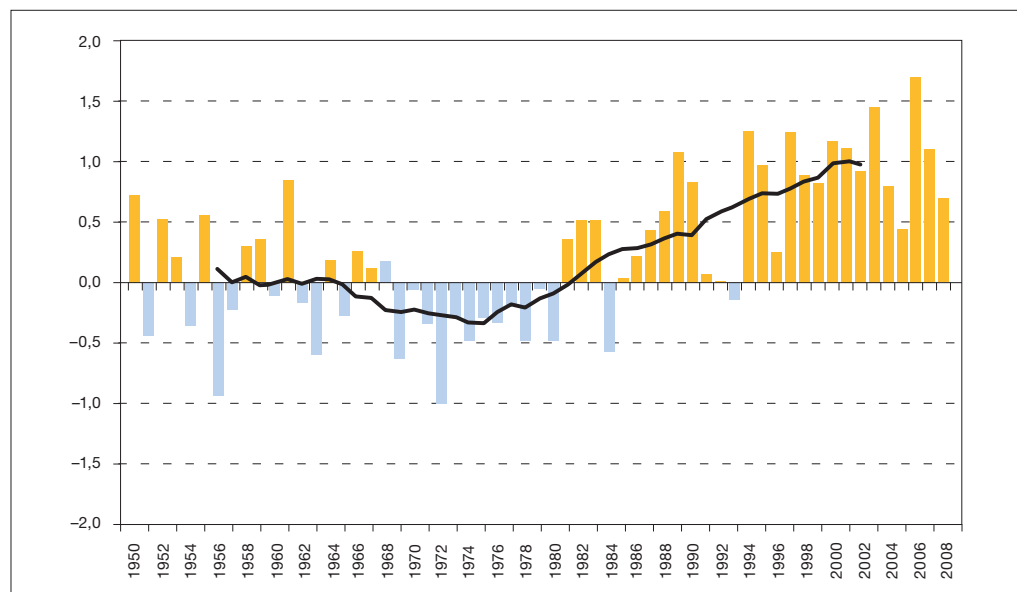


Figura 6. Evolució temporal de la temperatura mitjana anual (°C) per al conjunt de Catalunya durant el període 1950-2008, expressada com a anomalia respecte al trentenni de referència (1961-1990). La corba negra indica la mitjana mòbil de tretze anys de període.

Font: Servei Meteorològic de Catalunya.

2.3.2. Canvis en la precipitació

2.3.2.1. Variacions i tendències de llarg recorregut i contextualització

Les tendències de la precipitació, tant a escala global com a escales més petites i properes a Catalunya, no mostren un patró ni espacial ni temporal tan definit com l'establert per a les temperatures, atesa l'alta variabilitat temporal (tant interanual com intranual) i la complexitat de la distribució espacial, juntament amb els factors de gran i petita escala que regulen aquesta variable, particularment els factors geogràfics. En el darrer informe de l'IPCC (2007), les tendències estimades per al conjunt de la Mediterrània occidental són de petita magnitud i de signe contraposat i no són estadísticament significatives.

Encara que l'estudi de l'evolució temporal de la precipitació a la península ibèrica ha suscitat un gran interès en els darrers anys, atesa la importància dels canvis temporals en l'entrada d'aigua per a la disponibilitat hídrica dels territoris, els resultats obtinguts no presenten un consens generalitzat i ofereixen senyals de canvi variats. Aquests no sols es poden explicar per la gran variabilitat espacial i temporal de la precipitació, sinó també per la diversitat dels períodes analitzats, per les diferents bases de dades utilitzades i per les metodologies d'anàlisi aplicades (Cuadrat i Martín-Vide, 2007). A més a més, el complex mosaic espacial que presenta la precipitació a la península ibèrica, inherent a la seva condició mediterrània i a la seva complexa orografia, requereix un nombre més gran de sèries representatives de totes les variants pluviomètriques amb les quals analitzar el seus canvis en el temps (Castro *et al.* 2005).

La major part d'estudis citats a Castro *et al.* (2005) i a Cuadrat i Martín-Vide (2007) no mostren tendències estadísticament significatives, especialment si aquestes es calculen per a sèries agregades espacialment, i alhora apunten a una àmplia varietat de respostes subregionals en funció del període de temps analitzat. L'estudi d'Esteban-Parra *et al.* (1998) mostrà una disminució de la precipitació sobre la Mediterrània i l'interior espanyol i un lleuger increment en els sectors costaners del nord peninsular, mentre que en l'estudi de Rodríguez-Puebla *et al.* (1998) la dis-

minució pluviomètrica s'esglaona des del sud-est cap al nord peninsular. Més tard, Rodríguez-Puebla *et al.* (2002), analitzant els patrons pluviomètrics espacials i estacionals de la península, estimaren una disminució estadísticament significativa durant els mesos de febrer, març i abril al sud-oest de la península. També Paredes *et al.* (2006) estimaren una reducció de la precipitació al març, que fou especialment elevada a l'oest de la península ibèrica.

Rodríguez-Puebla i Brunet (2007), en un estudi recent de síntesi, utilitzant tant sèries de dades observades com dades de reanàlisi per al període 1949-2005 en el conjunt de la península, van evidenciar una disminució dels totals pluviomètrics anuals tant en les dades observades com, particularment, en les de la reanàlisi, una reducció que fou especialment acusada al Cantàbric i al sud-est peninsular. L'examen estacional de tendències, tant de conjunt com per a cada un dels punts de les xarxes utilitzades, assenyalava la primavera i l'estiu com les estacions de l'any en què s'ha produït una disminució més acusada i espacialment coherent, si es compara amb la que s'ha observat a l'hivern (amb una disminució lleugera) o a la tardor (amb increments lleugers). Els autors conclouen que s'ha observat una tendència cap a valors més baixos de la precipitació peninsular en la segona meitat del segle xx, particularment acusada al començament de la primavera. La coincidència d'aquesta tendència a la baixa de la precipitació amb el fort escalfament observat ha d'estar conduint cap a una intensificació en el grau d'aridesa del clima peninsular, amb un increment de l'evapotranspiració i una reducció de la disponibilitat hídrica, entre altres impactes en el socioecosistema peninsular.

En regions properes a Catalunya, Abaurrea *et al.* (2002) analitzaren l'evolució espacial i temporal de la precipitació en vint-i-nou punts de la conca de l'Ebre durant el període 1916-2000 i estimaren una disminució no significativa en els totals anuals durant el subperíode 1970-1985. Per a la regió de València, De Luis *et al.* (2000) assenyalaren una disminució de la precipitació i un increment de la variabilitat per al període 1961-1990 en els sectors valencians més humits. Per al conjunt de l'arc mediterrani espanyol, González-

Hidalgo *et al.* (2001) trobaren una tendència cap a la sequera de tardor i una variabilitat més gran a l'hivern a partir de l'estudi de noranta-set observatoris, i, alhora, obtingueren resultats similars incrementant el nombre de registres (385) i limitant el període d'anàlisi de 1950 a 2000.

Un estudi molt recent, basat en dades d'observatoris que cobreixen el vessant mediterrani de la península ibèrica (i que inclou tot Catalunya), amb 1.113 sèries pluviomètriques mensuals homogènies i contínues per al període 1951-2000, ha mostrat que al mes de març s'ha produït una minva de la precipitació pràcticament generalitzada a tot el Principat (González-Hidalgo *et al.*, 2009). D'altra banda, la pluja a Catalunya mostra una correlació més bona (negativa) amb els índexs de l'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental (WeMO) i de l'Oscil·lació de la Mediterrània que amb l'índex atlàntic de la NAO. En canvi, a diferència del que ha ocorregut a la part occidental de la península ibèrica, al llarg de l'últim mig segle la pluja hivernal no presenta tendències significatives a Catalunya (López-Bustins *et al.*, 2008).

A Catalunya, l'estudi del canvi a llarg termini de la precipitació també ha merescut atenció, i l'evolució pluviomètrica s'ha analitzat tant en el seu conjunt com per diferents subregions catalanes. Els treballs de Saladié *et al.* (2004a, 2004b), centrats en l'anàlisi de les tendències del segle xx sobre el Sistema Mediterrani català i les Terres de l'Ebre, respectivament, assenyalen un lleuger descens dels totals pluviomètrics anuals, amb un descens primaveral acusat i increments baixos en la resta de les estacions de l'any al litoral i al prelitoral català (Saladié *et al.* 2004a), encara que cap coeficient assoleix significació estadística; en canvi, per a les Terres de l'Ebre s'ha verificat un lleuger increment anual, associat a lleugers augments a l'hivern i a l'estiu, que es redueix en les estacions equinoccials (Saladié, 2004b). Finalment, aquests autors assenyalen l'existència d'una tendència a l'increment pluviomètric fins a principi de la dècada de 1970 i una reducció des de llavors fins al final del segle xx.

Finalment, la construcció de la sèrie regional catalana mitjançant la utilització de 121 observatoris (Saladié *et al.* 2007) va permetre també a Saladié *et al.* (2008) analitzar les variacions de la

precipitació catalana i estimar les tendències anuals i estacionals per al conjunt del segle xx. La precipitació anual a Catalunya durant el darrer segle ha disminuït un 1% (-6,6 mm respecte de la mitjana catalana per al període de referència, 1961-1990), i el fet més destacat de l'evolució estacional ha estat la remarcable reducció de la pluviometria primaveral en un 22% del total estacional, aproximadament, un valor significatiu amb un nivell de confiança del 90%. L'estiu, la tardor i l'hivern, en canvi, presenten lleugers increments que en cap cas no assoleixen, juntament amb el total anual, significació estadística. La disminució de la precipitació primaveral s'ha accentuat des de l'inici de 1970 fins a l'any 2000, amb un -1,5%/any, i s'ha estès fins a l'estiu, una estació que, sense arribar a la significació estadística del 95%, ha registrat una reducció de l'1,32%/any durant el període 1975-2000.

2.3.2.2. Canvis recents en l'Observatori Fabra i en l'Observatori de l'Ebre

Com és sabut —i ja s'ha esmentat anteriorment, la precipitació presenta una variabilitat temporal i espacial elevada, que en l'àmbit mediterrani esdevé encara més accentuada. Per això, la detecció de tendències o de senyals climàtics és sovint infructuosa i requereix sèries prou llargues i contínues, així com una densitat de sèries remarcable a nivell regional.

En el cas de Catalunya, es disposa de dues sèries que compleixen aquests criteris i que, per tant, esdevenen candidates prioritàries per a l'anàlisi de la variabilitat de la precipitació a escala anual i estacional: l'Observatori de l'Ebre (Roquetes, Baix Ebre), amb dades des de 1905, i l'Observatori Fabra (Barcelona, Barcelonès), amb una sèrie que es remunta a 1914.

L'anàlisi de l'evolució de la pluviometria anual i estacional en ambdós observatoris no presenta cap tendència clara en el darrer segle. Així, els increments o els dèficits pluviomètrics detectats no són estadísticament significatius, per la qual cosa no es pot determinar una tendència conclouent. Malgrat tot, s'han detectat comportaments comuns a ambdós punts: un lleuger augment de la precipitació hivernal i de tardor i una disminució de la precipitació estival. La taula 3 en mostra els resultats.

	Anual		Hivern		Primavera		Estiu		Tardor	
	Fabra	Ebre	Fabra	Ebre	Fabra	Ebre	Fabra	Ebre	Fabra	Ebre
Precipitació (mm/dècada)	+1,38	+5,73	+3,63	+2,30	-2,31	+1,18	-1,15	-0,82	+1,49	+2,86

Taula 3. Tendències de la precipitació anual i estacional a l'Observatori Fabra (1914-2008) i a l'Observatori de l'Ebre (1905-2008), expressades en mm/dècada (cap valor no assoleix el nivell de significació estadística amb un 95 % de confiança, $p < 0,05$).

La figura 7 mostra l'evolució de la precipitació anual en ambdós observatoris, expressada com a anomalies percentuals respecte al període 1961-1990. Tal com s'indicava anteriorment, es fa di-

ficil detectar cap tendència o cicle i únicament és apreciable un cert predomini d'anys secs en els darrers trenta anys a l'Observatori de l'Ebre, que és menys evident a l'Observatori Fabra.

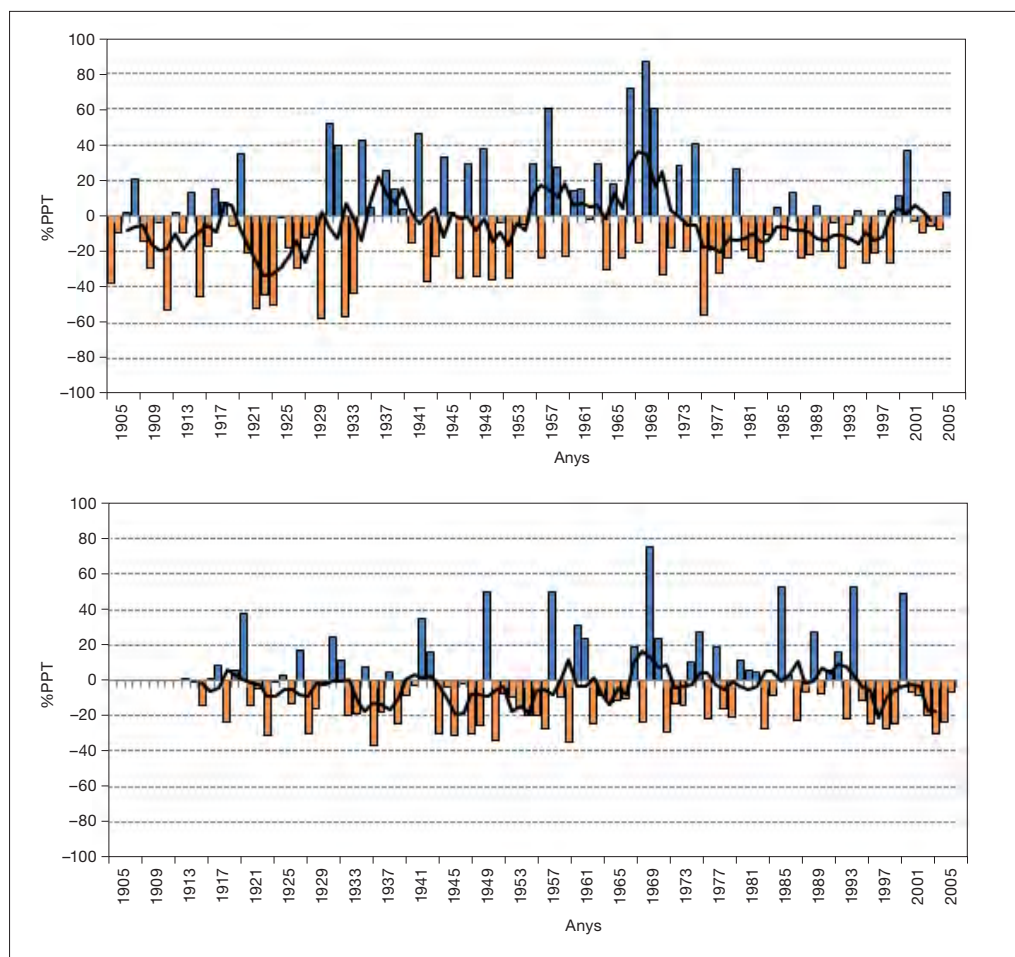


Figura 7. Evolució de l'anomalia de la precipitació anual a l'Observatori de l'Ebre (1906-2008) i a l'Observatori Fabra (1914-2008). Els valors s'expressen com a anomalies percentuals respecte al període de referència (1961-1990). Les barres de color blau indiquen percentatges positius, és a dir, anys plujosos, mentre que les barres taronges indiquen anys secs. La corba negra continua expressa la mitjana mòbil de cinc anys de període. Atès que l'Observatori de l'Ebre no disposa de les dades corresponents a 1938, la gràfica queda interrompuda aquell any.

Font: Servei Meteorològic de Catalunya, Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics, 2008.

2.3.3. La insolació

Existeixen sis sèries d'insolació amb una resolució mensual: Barcelona, Girona, Reus, Lleida, la Molina i l'Observatori de l'Ebre, amb dades contínues des d'abans de 1950, que permeten establir amb un notable grau de versemblança les tendències de la insolació anual, així com estacional i mensual, a Catalunya almenys des de mitjan segle xx fins a començament del segle xxi. Un cop comprovada la qualitat de les sèries esmentades, i després d'omplir-ne el buits i d'homogeneitzar-les, van formar part d'un estudi més ampli sobre la península ibèrica, amb setanta-dos punts d'observacions (Sánchez-Lorenzo *et al.*, 2007). La sèrie mitjana anual d'insolació de Catalunya per al període 1951-2004, expressada com la mitjana de les sèries d'anomalies de cada una de les sis sèries respecte al període 1971-2000, es representa en la figura 8. La tendència lineal per al conjunt del període és positiva, però no significativa amb un nivell de confiança del 95%. La manca de significació és conseqüència de dos subperíodes que tenen un comportament clarament contrastat: 1951-1983, amb una clara davallada de la insolació, que al final marca el

global dimming, o enfosquiment global, i 1984-2004, amb una tendència nítida a l'alça, en el que s'ha anomenat *brightening*. Les tendències parcials d'ambdós subperíodes són significatives (al 95%): $-50,2$ hores/dècada i $+109,4$ hores/dècada. Estacionalment, la primavera presenta l'augment d'insolació més clar des dels anys vuitanta del segle passat, al qual ha contribuït especialment el mes de març. Com a conclusió, és remarcable el fet que la insolació anual a Catalunya, en el darrer mig segle, presenta una evolució paral·lela a la planetària.

2.4. Canvis en l'estat extrem del clima

2.4.1. Canvis a llarg termini en els extrems tèrmics i pluviomètrics i contextualització espacial

D'acord amb el darrer informe de l'IPCC, els canvis en els esdeveniments climàtics extrems són consistents amb l'escalfament observat del clima a escala global (IPCC, 2007). En les latituds mitjanes s'ha produït una reducció generalitzada dels dies de gelada, alhora que en el 75% de la superfície terrestre s'ha registrat un increment

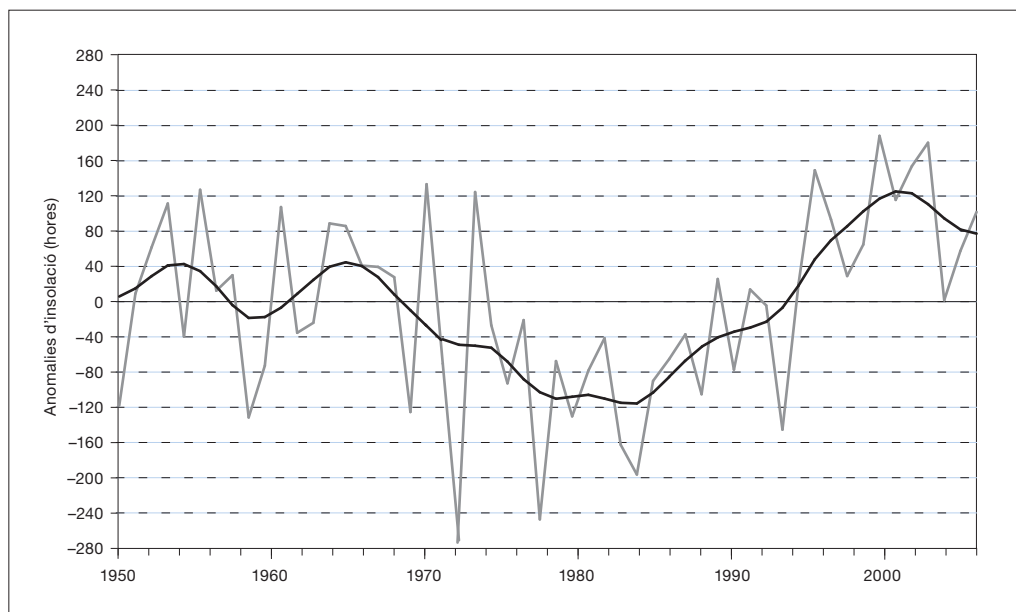


Figura 8. Evolució de la mitjana anual d'insolació de Catalunya per al període 1951-2004, expressada com la mitjana (en hores) de les sèries d'anomalies de sis sèries respecte al període 1971-2000 (i suavització mitjançant un filtre gaussià). Font: Elaboració a partir de les dades analitzades en l'article de Sánchez-Lorenzo, Brunetti, Calbó i Martín-Vide, 2007.

dels extrems càlids i una reducció dels extrems freds, estimats com el canvi en la freqüència de nits i dies amb valors per sobre (o per sota) del percentil 90è (10è, en el cas dels extrems freds) durant la segona meitat del segle xx. Els canvis en els extrems pluviomètrics han estat molt menys coherents que els de la temperatura, encara que la precipitació anual ha evidenciat un increment a nivell global i la major part d'indicadors pluviomètrics extrems mostren una tendència cap a condicions més humides, però sense que tots els índexs mostrin canvis significatius. Acompanyant la intensificació dels esdeveniments pluviomètrics, també s'ha observat un increment marcat de les sequeres, les quals són ara més comunes, especialment a les latituds tropicals i subtropicals des de la dècada de 1970. Aquests canvis han estat coherents amb els que s'han observat per al conjunt del segle xx a partir d'un subconjunt de dades termopluviomètriques diàries de recorregut més llarg (Alexander *et al.* 2007).

Si anteriorment, pel que fa al canvi mitjà de la temperatura a llarg termini, s'esmentaven les dificultats de l'anàlisi associades a l'escassa disponibilitat de dades amb base mensual per a escales espacials més petites que la global, l'anàlisi del comportament extrem del clima, que requereix dades d'alta qualitat amb base diària i horària, encara troba més entrebancs i, aleshores, el canvi en els extrems climàtics està més mal documentat a escales locals, subregionals i regionals. En aquest sentit, no ha d'estranyar que els estudis sobre el canvi en l'estat extrem del clima en un context espacial proper a Catalunya siguin limitats, tant en el temps com en l'espai. En el temps, perquè els períodes analitzats tenen un recorregut més curt o estan centrats en l'anàlisi d'una o una altra estació de l'any. En l'espai, perquè en general estan circumscrits a l'estudi d'observatoris individuals, amb algunes excepcions que aborden l'estudi a escala peninsular i també subregional.

Les onades de calor i les onades de fred en llocs individuals (per exemple, La Corunya, Barcelona, Pamplona, Osca, Granada, Cadis, etcètera) han estat abordades per Almarza i López (1995), Martín-Vide i Moreno (1996), Serra *et al.* (2001), Pejenaute (2004) o López (2004). Per

a escales més grans que les locals, Miró i Estrela (2004) examinaren les tendències de les temperatures en els mesos d'estiu per tal d'analitzar els canvis en la freqüència dels dies calorosos, i indicaren un increment d'aquests en la segona meitat del segle xx per a la regió valenciana. García-Herrera *et al.* (2005) exploraren les temperatures extremes estivals i les relacionaren amb el seu impacte sobre la salut humana, mentre que Prieto *et al.* (2004) analitzaren les temperatures mínimes extremes a Espanya i Díaz *et al.* (2004) les relacionaren amb la mortalitat. Rodríguez-Puebla *et al.* (2004), utilitzant vint-i-nou registres diaris de temperatura màxima procedents de l'European Climate Assessment and Dataset (ECA&D) i dels Instituts Nacionals de Meteorologia d'Espanya i de Portugal, analitzaren l'increment en el nombre de dies càlids de l'estiu per a la segona meitat del segle xx i obtingueren que aquest nombre augmentava, particularment des de principi de la dècada de 1970. Recentment, Brunet *et al.* (2007a) exploraren la contribució que els esdeveniments tèrmics extrems (nits i dies molt càlids i molt freds) han tingut en l'escalfament observat a l'Espanya peninsular i a les diferents regions que presenten un mateix senyal de variabilitat tèrmica. D'aquest estudi es va despendre que l'escalfament espanyol en el període 1850-2005 havia estat més el resultat d'una reducció més forta en els extrems freds que no pas una conseqüència de l'increment observat en els extrems càlids, ja que els dies i nits freds (amb valors de les temperatures màximes i mínimes per sota del percentil 10è) s'han reduït 0,74 i 0,54 dies/dècada, mentre que els dies i nits càlids (amb valors de les temperatures màximes i mínimes per sobre del percentil 90è) s'han incrementat segons taxes de canvi més petites: 0,53 i 0,49 dies/dècada, respectivament. Aquests resultats indicaren que l'Espanya peninsular, igual que el conjunt del globus (Alexander *et al.* 2007), és cada cop menys freda.

En el cas dels estudis sobre l'evolució temporal dels extrems pluviomètrics, Romero *et al.* (1998) van examinar els canvis en els dies amb una precipitació que excedia els llindars d'1 mm, 25 mm i 100 mm, així com els canvis en la durada mitjana de les ratxes seques i humides, a la façana mediterrània espanyola en el període

1964-1993. Aquests autors van identificar una tendència cap a la sequera tant als sectors andalusos com a l'oest de Catalunya. Posteriorment, Goodess i Jones (2002) van analitzar una xarxa de cinquanta-set registres diaris de la precipitació a Espanya i identificaren una tendència creixent a l'ocurrència de pluges més intenses a la regió mediterrània, particularment al sud-est peninsular, i també de precipitacions menys intenses a la resta de l'Espanya peninsular.

Per a escales espacials més grans (Europa), i arran de la realització del projecte europeu ECA&D, en què es van analitzar cinc punts de la geografia peninsular (Badajoz-Talavera, Salamanca, San Sebastián, Roquetes-Tortosa i València), Klein Tank i Können (2003) van concloure que el nombre de dies i nits càlids s'havia incrementat significativament des de final de la dècada de 1970, alhora que van identificar una reducció de la freqüència de dies i nits freds.

Índex	Definició índex	Unitats
Dies de glaçada	Nombre de dies en què $T_n < 0^\circ\text{C}$ en un any	Dies
Dies d'estiu	Nombre de dies en què $T_x > 25^\circ\text{C}$ en un any	Dies
Nits tropicals	Nombre de dies en què $T_n > 20^\circ\text{C}$ en un any	Dies
Durada estació de creixement	Nombre de dies en un any entre la primera ratxa de 6 dies, com a mínim, amb $T_m > 5^\circ\text{C}$ i la primera ratxa després de l'1 de juliol amb 6 dies, com a mínim, amb $T_m < 5^\circ\text{C}$.	Dies
Màxima anual de T_x	Valor màxim anual de T_x diària	$^\circ\text{C}$
Màxima anual de T_n	Valor màxim anual de T_n diària	$^\circ\text{C}$
Mínima anual de T_x	Valor mínim anual de T_x diària	$^\circ\text{C}$
Mínima anual de T_n	Valor mínim anual de T_n diària	$^\circ\text{C}$
Nits fredes	Percentatge de dies en què $T_n < \text{percentil } 10$	%
Dies freds	Percentatge de dies en què $T_x < \text{percentil } 10$	%
Nits càlides	Percentatge de dies en què $T_n > \text{percentil } 90$	%
Dies càlids	Percentatge de dies en què $T_x > \text{percentil } 90$	%
Durada de la ratxa càlida	Nombre de dies en un any en què, com a mínim, hi ha 6 dies consecutius amb $T_x > \text{percentil } 90$	Dies
Durada de la ratxa freda	Nombre de dies en un any en què, com a mínim, hi ha 6 dies consecutius amb $T_n < \text{percentil } 10$	Dies
Amplitud tèrmica anual	Mitjana anual de la diferència entre T_x i T_n	$^\circ\text{C}$
Índex Simple d'Intensitat de la PPT	Precipitació total anual dividida pel nombre de dies en què la precipitació és superior o igual a 1,0 mm	mm/dia
Nombre de dies amb PPT > 20 mm	Nombre de dies anuals en què la precipitació és ≥ 20 mm	Dies
Nits extremament fredes	Percentatge de temperatures mínimes (T_n) per sota del percentil 2	% de dies
Nits molt fredes	Percentatge de T_n per sota del percentil 5	% de dies
Nits molt càlides	Percentatge de T_n per sobre del percentil 95	% de dies
Nits extremament càlides	Percentatge de T_n per sobre del percentil 99	% de dies
Dies extremament freds	Percentatge de temperatures màximes (T_x) per sota del percentil 2	% de dies
Dies molt freds	Percentatge de T_x per sota del percentil 5	% de dies
Dies extremament freds	Percentatge de T_x per sota del percentil 10	% de dies
Dies extremament càlids	Percentatge de T_x per sobre del percentil 99	% de dies
—	Dia més plujós de l'any	mm
—	Els 5 dies més plujosos de l'any	mm
Dies molt plujosos	Precipitació diària per sobre del percentil 95	mm
Dies extremament plujosos	Precipitació per sobre del percentil 99	mm

Taula 4. Índexs d'extrems climàtics definits pel Grup d'Experts en Detecció de Canvi Climàtic i Índexs (ETCCDMI).

Sobre l'Europa central i occidental, Della-Marta *et al.* (2006) analitzaren el canvi a llarg termini (1880-2003) en la freqüència, la intensitat i la durada de les onades de calor i identificaren a l'Espanya peninsular un increment en la durada i la intensitat d'aquestes. També Moberg *et al.* (2007), en el seu estudi sobre el canvi a llarg termini en el comportament termopluriomètric extrem a Europa, van concloure que la península Ibèrica destaca sobre altres regions europees per presentar les tendències més altes cap a l'escalfament en els indicadors extrems relacionats amb les temperatures diürnes (temperatures màximes).

Brunet *et al.* (2007c) analitzaren els canvis en els extrems tèrmics i pluviomètrics observats a l'Espanya peninsular en el període 1901-2005 usant una xarxa de vint-i-dues estacions amb informació diària. En aquest estudi s'analitzà el canvi observat en diferents índexs d'extrems tèrmics, com els dies i nits freds, molt freds i extremament freds (temperatures màximes i mínimes diàries per sota dels percentils 10è, 5è i 2n), els dies i nits càlids, molt càlids i extremament càlids (temperatures màximes i mínimes diàries per sobre dels percentils 90è, 95è i 99è) o la durada de les ratxes càlides i de les ratxes fredes. Respecte dels extrems pluviomètrics, es van avaluar els canvis en els índexs següents: els excedents de la precipitació diària per sobre dels percentils 95è i 99è, l'índex simple d'intensitat diària i els indicadors d'1 i 5 dies amb la precipitació més alta de l'any.

Tant l'examen dels percentils superiors de les temperatures com el dels inferiors mostren que s'ha produït un escalfament evident a l'Espanya peninsular al llarg del segle xx, i que aquest ha estat més important en els extrems associats a les temperatures màximes que en el que s'ha observat pel que fa a les temperatures mínimes, en concordança amb altres estudis a escala europea (Della-Marta *et al.* 2006; Moberg *et al.* 2007). No obstant això, aquest patró presenta un lleuger canvi en el període més recent d'escalfament (1973-2005), en el qual la tendència dels extrems d'ambdues variables presenta valors similars; és a dir, taxes de canvi similars tant per a l'increment dels extrems càlids com

per a la reducció dels extrems freds. A més a més, s'ha verificat un augment significatiu en la durada de les ratxes càlides, el qual s'ha produït amb taxes de canvi més ràpides que les que han caracteritzat la reducció de les ratxes fredes.

Finalment, tots els índexs d'extrems pluviomètrics mostren una tendència cap a la intensificació de la pluja, amb lleugers increments dels esdeveniments més extrems, durant el conjunt del segle xx. No obstant això, aquests canvis no s'han produït uniformement al llarg del període analitzat, sinó al contrari: sembla que han ocorregut principalment des de principi de segle fins al terç final del segle, ja que en el període d'escalfament recent s'ha observat una lleugera tendència cap a la disminució en l'ocurrència d'esdeveniments pluviomètrics extrems a l'Espanya peninsular, encara que sense significació estadística.

2.4.2. Canvis recents en els extrems tèrmics i pluviomètrics

Els efectes del canvi climàtic a escala regional no només es poden abordar a partir de l'anàlisi de la possible tendència experimentada per la temperatura o la precipitació mitjana, sinó també a partir de la constatació de canvis en la freqüència i en la intensitat de diferents extrems climàtics. Amb aquest objectiu, sota els auspicis de l'Organització Meteorològica Mundial (OMM), el Grup d'Experts en Detecció de Canvi Climàtic i Índexs (ETCCDMI) formulà un seguit d'índexs d'extrems climàtics aplicats a les variables *temperatura* i *precipitació*, amb una resolució diària, que han esdevingut els més emprats i acceptats globalment.

Amb aquesta finalitat, la necessitat d'utilitzar sèries amb una cobertura temporal prou àmplia, homogènies i amb una resolució temporal diària, en limita sovint la disponibilitat. Novament, cal fer ús de les sèries que tenen més cobertura temporal i continuïtat, com són els casos de l'Observatori de l'Ebre i de l'Observatori Fabra. La taula 5 mostra els índexs que han mostrat tendències estadísticament significatives en un dels dos observatoris o en tots dos, i les figures 9 i 10 són dos exemples d'índexs d'extrems analitzats.

Índex	Tendència de l'índex (amb un nivell de confiança del 95 %)	
	Observatori de l'Ebre	Observatori Fabra
Dies de glaçada	—	Disminució
Dies d'estiu	Augment	Augment
Nits tropicals	Augment	Augment
Durada de l'estació de creixement	—	Augment
Màxima anual de Tx	Augment	Augment
Màxima anual de Tn	—	Augment
Mínima anual de Tx	Augment	Augment
Mínima anual de Tn	—	Augment
Nits fredes	Disminució	Disminució
Dies freds	Disminució	Disminució
Nits càlides	Augment	Augment
Dies càlids	Augment	Augment
Durada de la ratxa càlida	Augment	Augment
Durada de la ratxa freda	Disminució	Disminució
Amplitud tèrmica anual	Augment	Augment
Índex Simple d'Intensitat de la PPT	Augment	Augment
Nombre de dies amb PPT >20 mm	Augment	—

Taula 5. Índexs d'extrems climàtics definits per l'ETCCDMI i aplicats a les sèries diàries de temperatura màxima (Tx), temperatura mínima (Tn) i precipitació (PPT) de l'Observatori de l'Ebre (1905-2008) i de l'Observatori Fabra (1914-2008). Només es mostren els índexs amb una tendència estadísticament significativa ($p < 0,05$).
Font: Servei Meteorològic de Catalunya, Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics, 2008.

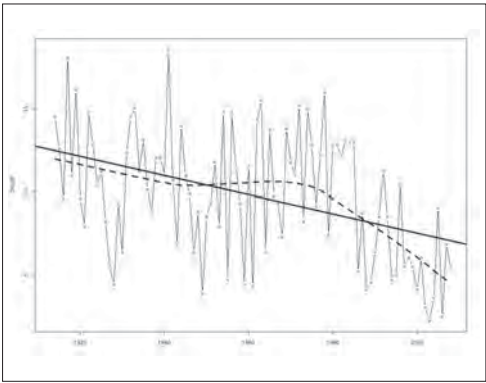


Figura 9. Evolució de l'índex TN10P (percentatge de dies respecte al total anual en què Tn ha estat per sota del percentil 10è) a l'Observatori Fabra, 1914-2008. Tendència anual calculada per regressió lineal de mínims quadrats (línea sòlida) i per regressió lineal amb ponderacions locals (línea puntejada).

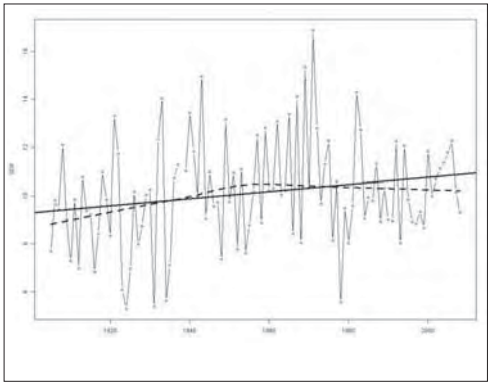


Figura 10. Evolució de l'índex SDII o Índex Simple d'Intensitat de la PPT (precipitació total anual dividida pel nombre de dies amb PPT > 1 mm, en mm/dia) a l'Observatori de l'Ebre, 1905-2008. Tendència anual calculada per regressió lineal de mínims quadrats (línea sòlida) i per regressió lineal amb ponderacions locals (línea puntejada).

Tal com es pot comprovar, bona part dels índexs fan referència a augmentos o a disminucions en la freqüència de determinats indicadors tèrmics i només dos presenten tendència

sobre la precipitació diària. A grans trets, tots dos punts indiquen una disminució en la freqüència i en la durada dels períodes freds, un augment en la freqüència, la intensitat i la du-

rada dels períodes càlids i, pel que fa a la precipitació, un cert augment en la intensitat de la precipitació —és a dir, la precipitació anual es reparteix en menys dies, sense que això signifiqui que anualment s'acumuli menys precipitació. Aquests resultats estan en consonància amb el que reflecteix el IV Informe d'Avaluació de l'IPCC.

Referències

- ABARCA DEL RÍO, R.; MESTRE, O. «Decadal to secular time scales variability in temperature measurements over France». *Geophysical Research Letters*, núm. 33 (2006). L13705. DOI 10.1029/2006GL026019.
- ABAURREA, J.; ASÍN, J.; ERDOZAIN, O.; FERNÁNDEZ, E. «Climate variability analysis of temperature series in the Medium Ebro River Basin». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001, p. 109-118.
- ABAURREA, J.; ASÍN, J.; CENTELLES, A. «Caracterización espacio-temporal de la evolución de la precipitación anual en la cuenca del Ebro». A: GUIJARRO, J. A.; GRIMALT, M.; LAITA, M.; ALONSO, S. (ed.). *El agua y el clima*. Palma de Mallorca: Asociación Española de Climatología (AEC), 2002, sèrie A, núm. 3, p. 113-124.
- AGUILAR, E.; AUER, I.; BRUNET, M. [et al.] *Guidelines on climate metadata and homogenization*. Ginebra: World Meteorological Organization, WMO/TD núm. 118 (2003), p. 50.
- ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C. [et al.] «Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation». *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, núm. 111 (2006). D05109. DOI 10.1029/2005JD006290.
- ALMARZA, C.; LÓPEZ, J.A. «Las temperaturas máximas absolutas en las zonas costeras». A: CREUS, J. (ed.). *Situaciones de riesgo climático en España*. Jaca: CSIC, 1995, p. 153-162.
- BROHAN, P.; KENNEDY, J.J.; HARRIS, I. [et al.] «Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850». *Journal of Geophysical Research*, núm. 111 (2006), D12106, DOI 10.1029/2005JD006548.
- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIÉ, O. [et al.] «Variations and trends of the surface air temperature in the Northeastern Spain from middle nineteenth century onwards». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001a, p. 81-93.
- «A differential response of Northeastern Spain to asymmetric trends in diurnal warming detected on a global scale». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001b, p. 95-107.
- «Warming phases in long-term Spanish temperature change». A: *13th Symposium on global change and climate variations*. Boston: American Meteorological Society, 2002, p. 30-32.
- BRUNET, M.; SALADIÉ, O.; JONES, P. [et al.] «The development of a new daily adjusted temperature dataset for Spain (1850-2003)». *International Journal of Climatology*, núm. 26 (2006), p. 1777-1802. DOI 10.1002/joc.1338.
- *A case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperature datasets*. Ginebra: World Meteorological Organization, 2008, WCDMP-66/WMO-TD-1425, 43 p.
- BRUNET, M.; JONES, P.D.; SIGRÓ, J. [et al.] «Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005». *Journal of Geophysical Research*, núm. 112 (2007a), D12117, DOI 10.1029/2006JD008249.
- BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; JONES, P.D. [et al.] «Long-term changes in extreme temperatures and precipitation in Spain». *Contributions to Science [Barcelona]*, núm. 3 (3) (2007b), p. 331-342.
- BRUNETTI, M.; MAUGERI, M.; MONTI, F.; NANNI, T. «Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series». *International Journal of Climatology*, núm. 26 (2006), p. 345-381.
- CAPEL MOLINA, J.J. *El clima de la península Ibérica*. Barcelona: Ariel, 2000.
- CASTRO, M.; MARTÍN-VIDE, J.; ALONSO, S. «El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI». A: MORENO, J.M. (ed.). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2005.
- CERNOCKY, T.; SÁNCHEZ-LORENZO, A.; TÉLLEZ JURADO, B. [et al.] «Modelización cartográfica mediante SIG del coeficiente de variación de la pluviometría anual y mensual en Cataluña». A: ESTRELA, M.J. (ed.). *Riesgos climáticos y cambio global en el mediterráneo español. ¿Hacia un clima de extremos?* Alzira i València: CEAM, UNED, 2008, p. 215-233 (Interciencias; 34).

- CUADRAT PRATS, J.M.; MARTÍN-VIDE, J. (ed.). *La climatología española. Pasado, presente y futuro/The Spanish climatology. past, present and future*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), serie B, 2007. ISBN: 978-84-7733-886-4.
- DE LUIS, M.; RAVENTÓS, J.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C. [et al.] «Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain)». *International Journal of Climatology*, núm. 20 (2000), p. 1451-1469.
- DELLA-MARTA, P.M.; LUTERBACHER, J.; WEISSENFLUH, H. [et al.] «Summer heat waves over western Europe 1880-2003. Their changes and relationships to large scale forcings». *Climate Dynamics*, núm. 29 (2007), p. 251-275.
- DÍAZ J.; LINARES, C.; GARCÍA-HERRERA, R. [et al.] «Mortality impact of extreme winter temperatures». *International Journal of Biometeorology*, núm. 49 (2004), p. 179-183.
- ESTEBAN-PARRA, M.J.; RODRIGO, F.S.; CASTRO-DÍEZ, Y. «Temperature trends and change points in the Northern Spanish Plateau during the last 100 years». *International Journal of Climatology*, núm. 15 (1995), p. 1031-1042.
- «Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992». *International Journal of Climatology*, núm. 18 (1998), p. 1557-1574.
- ESTEBAN-PARRA, M.J.; POZO-VÁZQUEZ, D.; RODRIGO, F.S. [et al.] «Temperature and precipitation variability and trends in Northern Spain in the context of the Iberian Peninsula climate». A: BOLLE, H.J. (ed.). *Mediterranean climate: variability and trends*. Berlín: Springer, 2003, p. 259-276.
- GALÁN, E.; CAÑADA, R.; FERNÁNDEZ, F.; CERVERA, B. «Annual temperature evolution in the southern plateau of Spain from the construction of regional climatic time series». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001, p. 119-131.
- GARCÍA-HERRERA, R.; DÍAZ, J.; TRIGO, R.; HERNÁNDEZ, E. «Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions». *Anales Geophysicae*, núm. 23 (2005), p. 239-251.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; DE LUIS, M.; RAVENTÓS, J.; SÁNCHEZ, J.R. «Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a western Mediterranean area». *International Journal of Climatology*, núm. 21 (2001), p. 843-860.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; LÓPEZ-BUSTINS, J.A.; STEPANEK, P. [et al.] «Monthly precipitation trends on the Mediterranean façade of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000)». *International Journal of Climatology*, núm. 29 (2009), p. 1415-1429.
- GOODESS, C.M.; JONES, P.D. «Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall». *International Journal of Climatology*, núm. 22 (2002), p. 1593-1615.
- HANSEN, J.E.; LEBEDEFF, S. «Global trends of measured surface air temperature». *Journal of Geophysical Research*, núm. 92 (1987), p. 13345-13372.
- «Global surface temperatures: Update through 1987». *Geophysical Research Letters*, núm. 15 (1988), p. 323-326.
- HANSEN, J.; RUEDY, R.; GLASCOE, J. [et al.] «GISS analysis of surface temperature change». *Geophysical Research Letters*, núm. 104 (1999), p. 30997-31022.
- HORCAS, R.; RASILLA, D.; FERNÁNDEZ, F. «Temperature variations and trends in the Segura River Basin. An exploratory analysis». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001, p. 133-142.
- IPCC [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. [et al.] (eds.)]. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (Regne Unit) i Nova York (EUA): Cambridge University Press, 2007.
- JANSÁ, J.M. «La masa de aire mediterránea». *Revista de Geofísica [Madrid]*, núm. 18 (1959), p. 35-50.
- JONES, P.D. «Instrumental temperature change in the context of the last 1000 years». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001, p. 55-68.
- JONES, P.D.; MOBERG, A. «A hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001». *Journal of Climate*, núm. 16 (2003), p. 206-223.
- JONES, P.D.; HULME, M. «Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations». *International Journal of Climatology*, núm. 16 (1996), p. 361-377.
- JONES, P.D.; WIGLEY, T.M.L.; KELLY, P.M. «Variations in surface air temperatures: Part 1. Northern Hemisphere, 1881-1980». *Monthly Weather Review*, núm. 110 (1982), p. 59-72.

- JONES, P.D.; RAPER, S.C.B.; SANTER, B. [et al.] *A grid point surface air temperature data set for the northern hemisphere*. Springfield: United States Department of Energy, 1985.
- JONES, P.D.; RAPER, S.C.B.; BRADLEY, R.S. [et al.] «Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984». *Journal of Climate and Applied Meteorology*, núm. 25 (1986), p. 161-179.
- JONES, P.D.; NEW, M.; PARKER, D.E.; [et al.] «Surface air temperature and its changes over the past 150 years». *Reviews of Geophysics*, núm. 37 (2) (1999), p. 173-199.
- KLEIN TANK, A.M.G.; KÖNNEN, G.P. «Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-1999». *Journal of Climate*, núm. 16 (2003), p. 3665-3680.
- LÓPEZ, J.A. «Análisis de tendencias en olas de calor a partir de series largas de temperatura». A: GARCÍA-CODRÓN, J.C. [et al.] (ed.). *El clima entre el mar y la montaña*. Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2004, sèrie A, núm. 4, p. 347-354.
- LÓPEZ BUSTINS, J.A.; MARTÍN-VIDE, J.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. «Iberian winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns». *Global and Planetary Change*, núm. 63 (2-3) (2008), p. 171-176.
- LUGINA, K.M., [et al.] «Monthly surface air temperature time series area-averaged over the 30-degree latitudinal belts of the globe, 1881-2004». A: *Trends: a compendium of data on global change*. Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, 2005. <<http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/lugina/lugina.html>>.
- MARTÍN-VIDE, J. «El clima». A: CARRERAS, C. (dir.). *Geografía general dels Països Catalans*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana (1992a).
- MARTÍN-VIDE, J. «El clima». A: BOSQUE, J.; VILÀ, J. (dir.). *Geografía de España*. Vol. 9: «Cataluña y Baleares». Barcelona: Planeta (1992b), p. 44-67.
- MARTÍN-VIDE, J.; FERNÁNDEZ, D. «El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular». *Investigaciones Geográficas* [Instituto de Geografía, Universidad de Alicante], núm. 26 (2001), p. 41-58.
- MARTÍN-VIDE, J.; LÓPEZ-BUSTINS, J.A. «The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula». *International Journal of Climatology*, núm. 26 (11) (2006), p. 1455-1475.
- MARTÍN-VIDE, J.; MORENO, M.C. «Record temperatures in Spain: The heatwave of July 1995». *Journal of Meteorology*, vol. 21, núm. 208 (1996), p. 138-143.
- MARTÍN-VIDE, J.; OLCINA, J. *Tiempos y climas de España*. Madrid: Alianza Editorial, 2001.
- MARTÍN-VIDE, J.; RASO, J.M. *Atlas climàtic de Catalunya. Període 1961-1990. Termopluiometria*. Escala 1:750.000. Barcelona: ICC i Servei Meteorològic de Catalunya, 2003.
- MARTÍNEZ, M.D.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A.M. [et al.] «Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (NE Spain) for the period 1975-2004». *International Journal of Climatology* [Royal Meteorological Society], vol. 30 (2) (2010). DOI 10.1002/joc.
- MIRÓ, J.J.; ESTRELA, M.J. «Tendencias de la temperatura en los meses de julio y agosto en la Comunidad Valenciana en las últimas décadas: cambios en la frecuencia de días calurosos». A: GARCÍA-CODRÓN, J.C., [et al.] (ed.). *El clima entre el mar y la montaña*. Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2004, sèrie A, núm. 4, p. 389-398.
- MOBERG, A.; JONES, P.D.; LISTER, D. [et al.] «Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analysed for the period 1901-2000». *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, núm. 111 (2006). D22106. DOI 10.1029/2006JD007103.
- MORALES, C.G.; ORTEGA, M.T.; LABAJO, J.L. [et al.] «Recent trends and temporal behavior of thermal variables in the region of Castilla-León (Spain)». *Atmósfera*, núm. 18 (2005), p. 71-90.
- NINYEROLA, M.; PONS, X.; ROURE, J.M. *Atlas climàtic digital de Catalunya*. Barcelona: Servei Meteorològic de Catalunya, 2001.
- ONATE, J.J.; POU, A. «Temperature variations in Spain since 1901: a preliminary analysis». *International Journal of Climatology*, núm. 16 (1996), p. 805-816.
- PAREDES, D.; TRIGO, R.; GARCÍA-HERRERA, R.; TRIGO, I.F. «Understanding precipitation changes in Iberia in early Spring. Weather typing and storm-tracking approaches». *Journal of Hydrometeorology*, núm. 7 (2006), p. 101-113.
- PEJENAU, J.M. «La ola de calor de agosto de 2003 en Navarra». A: GARCÍA-CODRÓN, J.C. [et al.] (ed.). *El clima entre el mar y la montaña*. Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2004, sèrie A, núm. 4, p. 105-144.

- PETERSON, T.C.; GALLO, K.P.; LAWRIEMORE, J. [et al.] «Global rural temperature trends». *Geophysical Research Letters*, núm. 26 (1999), p. 329-332.
- PRIETO, L.; GARCÍA-HERRERA, R.; DÍAZ, J. [et al.] «Minimum Extreme Temperatures over Peninsular Spain». *Global and Planetary Change*, núm. 44 (2004), p. 59-71. DOI 10.1016/j.gloplacha.2004.06.005.
- PROHOM, M. «La contribución de la Sociedad Astronómica de Barcelona en la difusión de las observaciones en Catalunya (1910-1923)». *Investigaciones Geográficas*, núm. 40 (2006), p. 141-155.
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; ENCINAS, A.; NIETO, S. [et al.] «Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula». *International Journal of Climatology*, núm. 18 (1998), p. 299-316.
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; GARCÍA-CASADO, L.A.; FRÍAS, M.D. «Trend and interannual variations in air temperature over Iberian Peninsula». [Article presentat en el 13th Symposium on Global Change and Climate Variations. American Meteorological Society, Orlando, Florida (EUA), 13-17 gener, 2002.]
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; ENCINAS, A.; DOMÍNGUEZ, M.F. [et al.] «Impacto de índices climáticos en las variaciones de precipitación acumulada en los meses de febrero, marzo y abril». A: GUIJARRO, J.A.; GRIMALT, M.; LAITA, M. [et al.] (ed.). *El agua y el clima*. Palma de Mallorca: Asociación Española de Climatología (AEC), 2002, sèrie A, núm. 3, p. 315-323.
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; FRÍAS, M.D.; ENCINAS, A.H. «Relaciones entre los extremos de temperatura máxima y patrones de circulación en el Atlántico Norte». Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Meteorología (AEC), 2004, 6 p. [Article presentat en les XXVIII Jornadas Científicas. La meteorología y clima atlánticos. 5.º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología, Badajoz, Espanya, 11-13 febrer, 2004.]
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; BRUNET, M. «Variability and Climate Change». A: MARTÍN-VIDE J.; CUADRAT, J.M. (ed.). *Spanish climatology: past, present and future*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), sèrie B, 2007.
- ROMERO, R.; GUIJARRO, J.A.; RAMIS, C. [et al.] «A 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study». *International Journal of Climatology*, núm. 18 (1998), p. 541-560.
- SALADIÉ, O.; BRUNET, M.; AGUILAR, E. [et al.] «Variaciones y tendencia secular de la precipitación en el Sistema Mediterráneo Catalán (1901-2000)». A: GARCÍA, J.C.; DIEGO, C.; FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE, P. [et al.] (eds.). *El clima, entre el mar y la montaña*. Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (2004), sèrie A, núm. 4, p. 399-408.
- «Variacions i tendència de la precipitació a les Terres de l'Ebre durant el segle XX». A: *Actes del IV Congrés ibèric sobre gestió i planificació de l'aigua*. Tortosa: Fundació Nova Cultura de l'Aigua, 9 p. (CD), 2004b.
- *Observar la lluvia en Cataluña: 150 años de registros. Creación de la base de datos de precipitación mensual ajustada del sector nororiental de la península Ibérica (1850-2000)*. Tarragona: Publicacions de la Universitat Rovira i Virgili (2007). (Recerca; 3).
- «Variacions i tendència de la precipitació al sector nord-oriental de la península Ibèrica durant el segle XX». *Revista de Geografia*, núm. 8 (2008), p. 25-46.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; BRUNET, M.; CALBÓ, J. [et al.] «Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized dataset». *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, vol. 112 (2007). D20115. DOI 10.1029/2007JD008677.
- SERRA, C.; BURGUEÑO, A.; LANA, X. «Analysis of maximum and minimum daily temperatures recorded at Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) in the period 1917-1998». *International Journal of Climatology*, núm. 21 (2001), p. 617-636.
- VINNIKOV, K.Y.; GROISMAN, P.Y.; LUGINA, K.M. «Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation)». *Journal of Climate*, núm. 3 (1990), p. 662-677.

3. El balanç global de carboni antropogènic

Josep Canadell i Gili

Global Carbon Project, Marine and Atmospheric Research, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Canberra, Austràlia

Josep Canadell és director executiu del *Global Carbon Project* i investigador de la *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* a Austràlia. Va rebre el seu grau de Doctor en ecologia terrestre a la Universitat Autònoma de Barcelona, i va ocupar tres llocs de recerca en diferents universitats als Estats Units d'Amèrica (San Diego State University, University of California at Berkeley, i Stanford University) abans de la seva feina actual. La seva àrea d'experiència és la pertorbació humana del cicle global de carboni i els efectes que això té en el sistema climàtic; aquest inclou els seus components terrestres, marins i atmosfèrics. Ha publicat més de 90 articles científics i 11 llibres i volums en revistes científiques.

Resum	77
3.1. La pertorbació antropogènica del cicle de carboni	79
3.2. Emissions de carboni	79
3.2.1. Emissions globals provinents de la crema de combustibles fòssils i producció de ciment	79
3.2.3. Emissions globals dels canvis en els usos del sòl	82
3.2.4. Emissions globals de metà	84
3.3. Embornals naturals de diòxid de carboni	84
3.3.1. Els ecosistemes terrestres	84
3.3.2. Els oceans	85
3.4. El CO ₂ atmosfèric i el balanç global de carboni	85
3.5. Vulnerabilitats en el cicle de carboni	88
3.5.1. Eficiència dels embornals de CO ₂	88
3.5.2. Carboni congelat	90
3.5.3. Carboni inundat	90
3.5.4. Carboni hidratat	90
3.5.5. Carboni vegetal	91
3.6. Pic de CO ₂ : implicacions per aconseguir estabilització atmosfèrica	91
Referències	93

Resum

Hi ha proves indiscutibles que l'increment de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera és degut a la crema de combustibles fòssils i a canvis en els usos del sòl. Aquesta darrera causa inclou la desforestació, i és responsable del 15% del total d'emissions provinents d'activitats humanes. El diòxid de carboni (CO_2), el gas dominant en la pertorbació humana del sistema climàtic, ha augmentat un 38% des de la Revolució Industrial i ha contribuït en 2/3 parts de l'escalfament global observat en els darrers 100 anys ($0,8^\circ\text{C}$). Les taxes de creixement d'emissions des del 2000 han estat sense precedents i per sobre les projeccions més pessimistes de les Nacions Unides. També ha estat preocupant l'aturada del procés històric de l'economia mundial a esdevenir progressivament menys intensiva en emissions de carboni. Això es deu a l'augment de la proporció global de riquesa generada amb l'ús de carbó, el combustible fòssil amb emissions més altes per unitat d'energia generada.

Del total de 10 Pg C anuals d'emissions antropogèniques a l'atmosfera durant els darrers anys (1 Pg = petagram = 10^{15} grams), el 55% és absorbit per les plantes i els oceans, i la resta s'acumula a l'atmosfera. Això demostra el gran valor dels embornals naturals de CO_2 en frenar la progressió del canvi climàtic a gairebé la meitat de la velocitat amb què s'esdevindria si no fos per ells. Tanmateix, l'eficiència d'aquests embornals ha disminuït durant les últimes dècades que augmentant la fracció del total d'emissions que

es queden a l'atmosfera, fet que ha contribuït a l'acceleració de l'acumulació de CO_2 a l'atmosfera.

Així, la dinàmica futura dels embornals de CO_2 és tan important com el comportament humà en gestionar la disminució d'emissions per aconseguir l'estabilització de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera. A la disminució en l'eficiència dels embornals naturals de CO_2 , s'hi han d'afegir els riscos derivats de la possible desestabilització futura de grans estocs de carboni causats per l'escalfament global i canvis en els usos del sòl. Aquests inclou el carboni congelat al ecosistema nòrdic, torberes als tròpics i en zones fredes, hidrats de metà en els oceans, i carboni en biomassa, sobretot en boscos tropicals.

Aquests són els paràmetres del sistema humà-natural que imposen límits en els camins possibles per aconseguir l'estabilització dels gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera. Acceptant els 2°C com a límit superior en escalfament global per evitar una interferència perillosa amb el sistema climàtic, el món només pot emetre 500 Pg C més per tenir una certesa del 50% que no se sobrepassa aquell límit. Això requereix unes taxes globals de disminució d'emissions de CO_2 del 6% anual, comparable a les taxes observades durant la nuclearització de França en la dècada del 1980, i la caiguda de la Unió Soviètica durant la dècada del 1990. Les taxes de mitigació es fan més grans per cada any que s'endarreririx l'inici en la davallada de les emissions globals.

3.1. La pertorbació antropogènica del cicle de carboni

Hi ha proves indiscutibles del fet que l'increment de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera durant els últims 100 anys és degut al resultat directe d'activitats humanes. Aquests gasos inclouen el diòxid de carboni (CO_2), el metà (CH_4), òxids de nitrogen (N_2O), i altres gasos de vida llarga que contenen halògens (IPCC 2007). Tot i que molts d'aquest gasos es troben a l'atmosfera de forma natural, la pertorbació humana ha fet que les emissions excedeixin la capacitat d'absorció natural d'aquests gasos resultants en la seva acumulació a l'atmosfera.

El CO_2 prové majoritàriament de la crema de combustibles fòssils com el petroli, el carbó i el gas natural, de la desforestació dels boscos, en l'actualitat majoritàriament dels boscos tropicals, i d'una quantitat més petita de la producció de ciment per a la construcció. El CH_4 prové de la producció d'energia amb carbó, de les deixalles domèstiques i industrials, del creixement de la població de remugants (vaques i bous) i la crema de vegetació. El N_2O prové de l'ús de fertilitzants, fums i crema de combustibles fòssils.

També hi ha proves que indiquen que aquests gasos, amb una probabilitat del 90%, són la causa dominant del canvi climàtic observat durant l'últim segle, i d'una manera més accelerada durant els últims 60 anys. Aquest canvi climàtic inclou l'escalfament global de $0,8^\circ\text{C}$ i una sèrie de canvis en els patrons de precipitació i freqüència de condicions climàtiques extremes (IPCC 2007).

L'evidència més clara de la relació entre els gasos amb efecte d'hivernacle i el canvi climàtic ve d'una vintena de models climàtics globals que són incapaços de reproduir les tendències climàtiques dels últims 100 anys llevat que invoquin el creixement d'aquests gasos a l'atmosfera. Altres components que afecten el balanç d'energia de la Terra i que també són considerats en els models climàtics són els canvis en la intensitat de la radiació solar i els canvis en la reflectivitat de la superfície terrestre i oceànica (albedo).

De tots els gasos amb efecte d'hivernacle el CO_2 és responsable del 63% de la pertorbació humana del balanç energètic de la Terra per a

l'any més recent de què es tenen dades, el 2008. No només és el gas més dominant sinó que és responsable del 80% del creixement del *forçament radiatiu* causat pels gasos amb efecte d'hivernacle produïts per les activitats humanes durant el període 2000-2008 (Butler 2009).

Finalment, el CO_2 té un temps de residència a l'atmosfera molt llarg, quelcom que ha estat poc apreciat fins recentment, en part a causa de la complexitat de calcular adequadament aquesta variable. El CO_2 emès per les activitats humanes s'equilibra entre varis reservoris de carboni que involucren processos a l'atmosfera, els ecosistemes terrestres i els oceans durant períodes de temps entre segons i milers d'anys. Aquests processos inclouen l'extracció immediata de CO_2 per la fotosíntesi de les plantes terrestres i el seu balanç amb la respiració que emet CO_2 , la difusió més lenta de CO_2 cap a l'oceà poc saturat, canvis en l'estructura de la vegetació que necessiten des de dècades a segles, i processos litològics que requereixen milers d'anys. Amb aquesta multiplicat d'equilibris s'estima que una bona part del CO_2 emès a l'atmosfera serà absorbit per l'oceà entre 2 i 20 segles, però fins i tot després de permetre aquest nou equilibri hi haurà entre el 20% i el 35% del CO_2 que romandrà a l'atmosfera a l'espera de processos litològics encara més lents. Això indica que el CO_2 provinent d'activitats humanes exerceix un efecte en el clima que es pot qualificar de permanent (Archer *et al.* 2009).

3.2. Emissions de carboni

3.2.1. Emissions globals provinents de la crema de combustibles fòssils i producció de ciment

Històricament, la crema de combustibles fòssils i petites quantitats de la producció de ciment han emès uns 345 PgC (1 PgC = 1 petagram de carboni = 1 gigatona = 1000 milions de tones = 10^{15} grams) (actualitzat de Canadell *et al.*, 2007a). Aquestes emissions de carboni van començar amb la crema de carbó durant la Revolució Industrial al segle XIX i han tingut un creixement exponencial des de mitjans del segle passat. Les taxes de creixement més altes s'han experimen-

tat a partir del 2000, amb un creixement mitjà anual de 3,4% comparat amb l'1,1% durant la dècada anterior. El pic més alt d'emissions va ser el 2008 amb 8,7 PgC, l'últim any del qual hi ha dades disponibles.

L'acceleració d'emissions en aquesta última dècada ha estat tant gran que ha superat la mitjana de les pitjors projeccions fetes pels escenaris més intensius de carboni (figura 1) i desenvolupades pel Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) de les Nacions Unides (Nakicenovic *et al.*, 2000). Deu anys enrere, quan es va publicar l'informe especial de l'IPCC, era impensable que els escenaris més intensos de carboni com l'A1FI podien esdevenir una realitat.

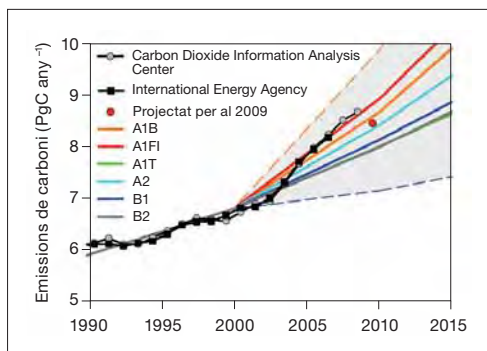


Figura 1. Diferències de les tendències en les emissions globals de carboni (CO_2) de combustibles fòssils entre les observades (línies negres) i les projectades pels escenaris d'emissions de l'IPCC (línies sòlides de colors). Els colors representen les trajectòries mitjanes per a cada família d'escenaris, i les línies de colors discontinues representen l'escenari individual més alt i més baix (actualitzat de Raupach *et al.* 2007). Font: Le Quéré *et al.*, 2009.

Els països desenvolupats, amb un 20% de la població mundial, són responsables del 80% de les emissions històriques. Actualment, però, les emissions dels països desenvolupats quasi no creixen en mitjana amb alguns països amb emissions a la baixa (per exemple, Gran Bretanya, Dinamarca) i altres amb emissions a l'alta (per exemple, Espanya, Grècia). Aquest fet juntament amb el ràpid creixement de la Xina i l'Índia ha fet que, recentment i per primera vegada en la història, els països menys desenvolupats siguin responsables d'una proporció més gran de les emissions globals (54%) que els països desenvolupats (figura 2).

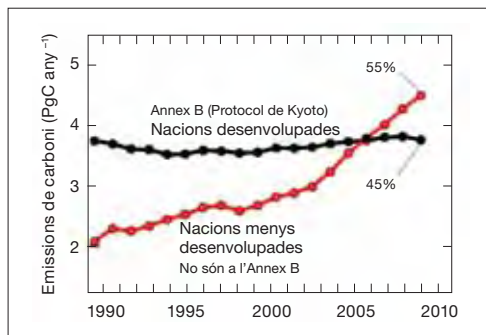


Figura 2. Tendències en les emissions de combustibles fòssils (carboni- CO_2) entre els països desenvolupats (Annex B del Protocol de Kyoto) i països menys desenvolupats (No annex B del Protocol de Kyoto). Font: Le Quéré *et al.*, 2009.

Economies més establertes com Gran Bretanya, Suïssa i els països escandinaus mostren una tendència a la disminució d'emissions totals tot i que les seves economies han continuat creixent (figura 3). Malgrat aquesta tendència de descarbonització de les seves economies, hi ha una tendència para l'augment de creixement en la importació de carboni contingut en productes i serveis que provenen de països menys desenvolupats. Això vol dir que països desenvolupats estan externalitzant parcialment les seves emissions a països menys desenvolupats els quals es fan responsables de les emissions de produir productes i serveis que seran exportats (Peters i Hertwich, 2008). Els països amb un import net més gran de carboni en productes de comerç són els Estats Units, el Japó i les economies més establertes a Europa. Per exemple, quasi el 50% de les emissions en productes i serveis consumits pels suecs provenen de l'estranger i per tant no són comptades en els seus inventaris d'emissions anuals (Davis i Caldeira, 2010). Espanya és el sisè país del món amb unes importacions netes de carboni més altes. Per l'any de referència, el 2004, Espanya va importar un flux net de carboni addicional provinent de l'estranger equivalent al 20% de les seves pròpies emissions (en el seu territori). El país amb una exportació neta de carboni més gran és la Xina amb un 50% de la taxa del creixement els últims cinc anys deguda a les exportacions netes (Guan *et al.*, 2009).

Les emissions de carboni de la crema de combustibles fòssils en el territori espanyol (exclusos

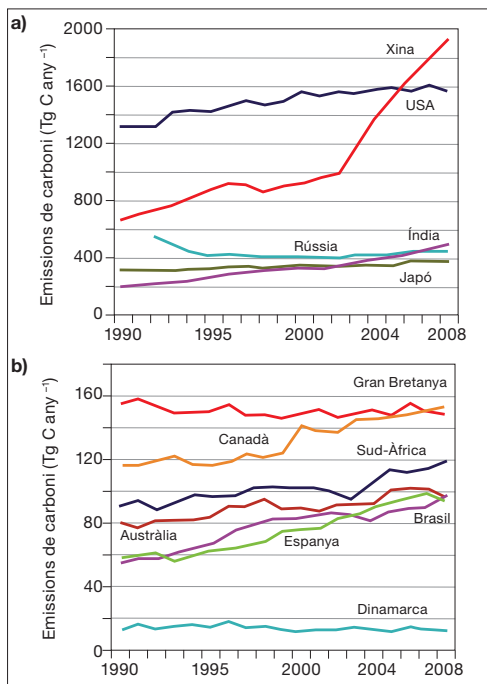


Figura 3. Tendències en les emissions de combustibles fòssils (carboni- CO_2) entre els països desenvolupats (Annex B del Protocol de Kyoto) i països menys desenvolupats (No annex B del Protocol de Kyoto).
Font: Le Quéré et al., 2009.

els fluxos de carboni importats en productes manufacturats i serveis) van ser de 94,5 Tg C el 2008 (1 teragram = 1 milió de tones 10^{12} grams), 51% més altes que les emissions el 1990, l'any de referència del Protocol de Kyoto. El Protocol demana que Espanya no emeti més del 15% més de les emissions del 1990 en acabar el 2012.

Del total d'emissions, la Xina i els Estats Units contribueixen al 45% seguits de l'Índia, Rússia i el Japó (figura 3a). És important assenyalar que els 3 màxims emissors són responsables del 50% de les emissions globals, els 10 màxims emissors són responsables de 2/3 parts de les emissions globals, i els 5 màxims emissors més la Unió Europea són responsables del 80% de les emissions globals. Això suggereix que des d'un punt de vista de mitigació del canvi climàtic n'hi hauria prou d'assolir un acord entre uns pocs governs per adreçar la majoria d'emissions globals. La necessitat d'un pacte global és conseqüència de la importància d'ajudar els països

menys desenvolupats a adoptar trajectòries de desenvolupament sostenible i d'assistir aquests països per adaptar-se a la part del canvi climàtic que serà inevitable.

Malgrat la nova dominància dels països menys desenvolupats en emissions globals, les emissions per càpita segueixen sent molt més baixes en aquests països que als països desenvolupats. A part dels països més rics en petroli com Qatar, Kuwait i els Emirats Àrabs amb més de 9 tones d'emissions de carboni per persona anualment, els Estats Units i Austràlia encapçalen el rànquing amb uns 5 tones per persona i any. Aquests valors són el doble de la mitjana dels països europeus, quatre vegades els valors de la Xina, i tretze vegades més grans que aquells de l'Índia i la majoria de països africans.

Un altre fet important durant aquesta última dècada ha estat el creixement exponencial de la proporció d'emissions de carboni provinents de la crema de carbó. Emissions de carboni provinents del petroli han dominat sobre altres fonts d'emissions des dels anys seixanta. Aquesta dominància, però, va canviar el 2007 quan el carbó va esdevenir la font de CO_2 més important arribant a una proporció del 40% de les emissions globals el 2008; el 36% de les emissions aquell mateix any provenien de la crema de petroli i la resta provenien del gas natural i de la producció de ciment per a la construcció (Boden et al., 2009; Le Quéré et al., 2009). L'atribució d'aquest augment en l'ús mundial de carbó és quasi exclusiva (90%) atesa la demanda energètica de les economies de la Xina i de l'Índia, particularment de la Xina.

Lligada amb l'augment de la proporció en l'ús carbó ha estat l'aturada del procés històric de l'economia mundial a esdevenir progressivament menys intensiva en emissions de carboni. Durant el segle passat hi ha hagut una tendència a la baixa en la quantitat de carboni emès per tal de produir una unitat de riquesa econòmica (per exemple, un dòlar). Tanmateix, des de principis d'aquest segle, aquesta tendència s'ha aturat principalment a causa del ràpid augment de la proporció global de l'economia xinesa, la qual es basa en gran mesura en l'ús de carbó com a font d'energia (Canadell et al., 2007a; Raupach et al., 2007; IMF 2009). Aquesta nova tendència apunta al fet que no només l'economia global no

s'ha estat descarbonitzant com a resultat de polítiques climàtiques durant aquesta última dècada, sinó que fins i tot la tendència històrica de descarbonització s'ha aturat. Algunes de les economies més desenvolupades han seguit una tendència moderada de descarbonització.

La crisi econòmica que va començar el 2008 als Estats Units i es va estendre a la resta del món durant el 2009 tindrà un efecte petit però discernible en les emissions de combustibles fòssils, particularment als països desenvolupats on l'impacte de la crisi és més gran. De fet, el creixement de les emissions de CO₂ durant el 2008 ja va ser una mica més baix, del 2,0%, comparat amb la taxa de creixement mitjana del 3,4% per any durant els 7 anys previs (Le Quéré *et al.*, 2009). Tot i aquesta desaceleració en el creixement de les emissions de CO₂, el valor total d'emissions durant el 2008 encara va seguir els escenaris d'emissions més alts de l'IPCC. Basat en projeccions del producte interior brut global per al 2009, contracció econòmica del -1,9% (IMF, 2009), s'estima que les emissions de CO₂ tindran un decreixement d'un 2,8%, fet insòlit en les últimes dècades. Atès que globalment no hi ha canvis significatius en l'estructura del sistema energètic, s'espera que les emissions tornaran a un creixement positiu el 2011 en paral·lel amb el creixement positiu del producte interior brut anual global.

3.2.3. Emissions globals dels canvis en els usos del sòl

Les emissions degudes als canvis deliberats en la cobertura de la terra i del seu ús formen els segon component més important d'emissions de carboni. Les activitats responsables per aquestes emissions inclouen la desforestació, la reforestació, l'extracció de fusta i el cultiu del sòl en les seves múltiples formes. Part d'aquestes emissions són compensades per l'absorció de CO₂ a causa del creixement de vegetació secundària i del segrest de carboni en els sòls després de la reforestació, l'abandonament agrícola, l'exclusió del foc i l'aplicació de pràctiques agrícoles que conserven el carboni (Houghton, 2003). A diferència de la combustió d'energies fòssils en què les emissions arriben a l'atmosfera immediatament, les emissions dels canvis en l'ús del sòl són el resultat de les activitats d'aquell mateix any més les

emissions resultants d'activitats en anys anteriors. Per exemple, el drenatge d'aiguamolls tropicals resulta en emissions de CO₂ dels sòls orgànics durant dècades subsegüents des de l'any en què es van drenar (Hooijer *et al.*, 2009).

Es calcula que les emissions netes de CO₂ degudes als canvis en l'ús del sòl són d' $1,5 \pm 0,7$ Pg per any per al període 1990-2006 amb una contribució històrica de més de 130 PgC (Canadell *et al.* 2007a). La desforestació és el procés més important i es dona en l'actualitat quasi exclusivament en els boscos tropicals. La desforestació neta als boscos temperats i boreals va parar durant la dècada dels vuitanta. Del total d'emissions, el 43% provenen de la desforestació dels tròpics de Sud i Centre-Amèrica; el 41% provenen d'Àsia tropical, particularment el Sud-est d'Àsia i majoritàriament d'Indonèsia. La resta (17%) provenen de l'Àfrica tropical (Canadell *et al.*, 2009). És interessant el fet que malgrat les emissions provinents d'Amèrica i d'Àsia són molt similars, el nombre total d'hectàrees desforestades és més petit a l'Àsia, segurament atesa l'alta densitat de carboni d'alguns dels seus boscos desforestats que creixen sobre torberes. Una relació contrària es troba a l'Àfrica tropical on el nombre d'hectàrees desforestades és proporcionalment més alt que les seves emissions de carboni, indicant més desforestació en boscos tropicals secs amb una densitat de carboni més baixa (figura 4). Aquesta distribució d'hectàrees i estocs de carboni posa un repte important per adreçar prioritats en la conservació de carboni i en la biodiversitat, les quals no sempre estan estretament relacionades; si la conservació

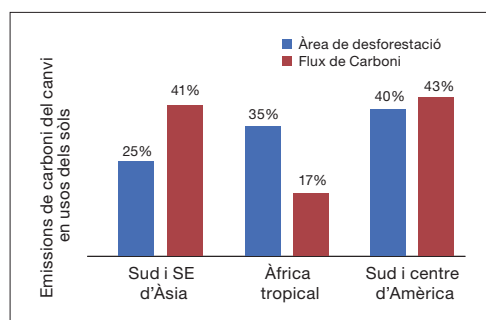


Figura 4. Atribució continental de les àrees desforestades i les emissions netes dels canvis en els usos del sòl i silvicultura per a les regions tropicals.

Font: Canadell *et al.*, 2009.

d'estocs de carboni entra en mercats nacionals i internacionals de carboni és possible que regions riques en biodiversitat però més pobres en estocs de carboni perdin una oportunitat crítica per finançar-ne la conservació.

Similar a la distribució per països de les emissions de combustibles fòssils, una proporció molt gran de les emissions provinent dels usos del sòl prové de pocs països (figura 5). De la trentena de països tropicals amb boscos, el 60% de les emissions provenen de Brasil i d'Indonèsia i la resta està repartida amb contribucions d'entre el 4 i el 0,5% del total (Canadell *et al.* 2009).

Aquestes emissions han baixat una mica a 1,2 PgC per a l'últim any de què es té una estima, el 2008 (Le Quéré *et al.* 2009; Van der Werf 2009). Aquesta disminució sembla més relacionada amb el fet que hi ha hagut unes condicions climàtiques molt humides a conseqüència de la Niña, particularment als tròpics de l'Àsia, que no en resposta a polítiques de canvi climàtic i conservació de biodiversitat. En països com Indonèsia, l'eina més important per obrir boscos per a

l'agricultura és el foc que requereix un període de condicions seques. L'acceleració continuada de les emissions de combustibles fòssils ha fet que la proporció d'emissions antropogèniques provinents de la desforestació neta hagi baixat del 20% durant la dècada dels noranta al 12% el 2008.

La incertesa d'aquests fluxos de carboni és del 50% a causa de la informació limitada que es té globalment dels canvis històrics de cobertura del sòl i dels canvis en la densitat de carboni dels boscos; aquest inclou la degradació de boscos la qual és difícil de mesurar i de ser detectada amb plataformes aèries com satèl·lits (Houghton *et al.*, 2009). De fet, la densitat de carboni dels boscos és tan important (i poc coneguda) que malgrat les taxes de desforestació a l'Amazònia brasilera no han canviat significativament des del 1990, les emissions de carboni han augmentat un 25% durant el període 2000-2007. Aquest fet va ser degut a la biomassa més alta, i per tant carboni, dels boscos desforestats més recentment (Loarie *et al.*, 2009).

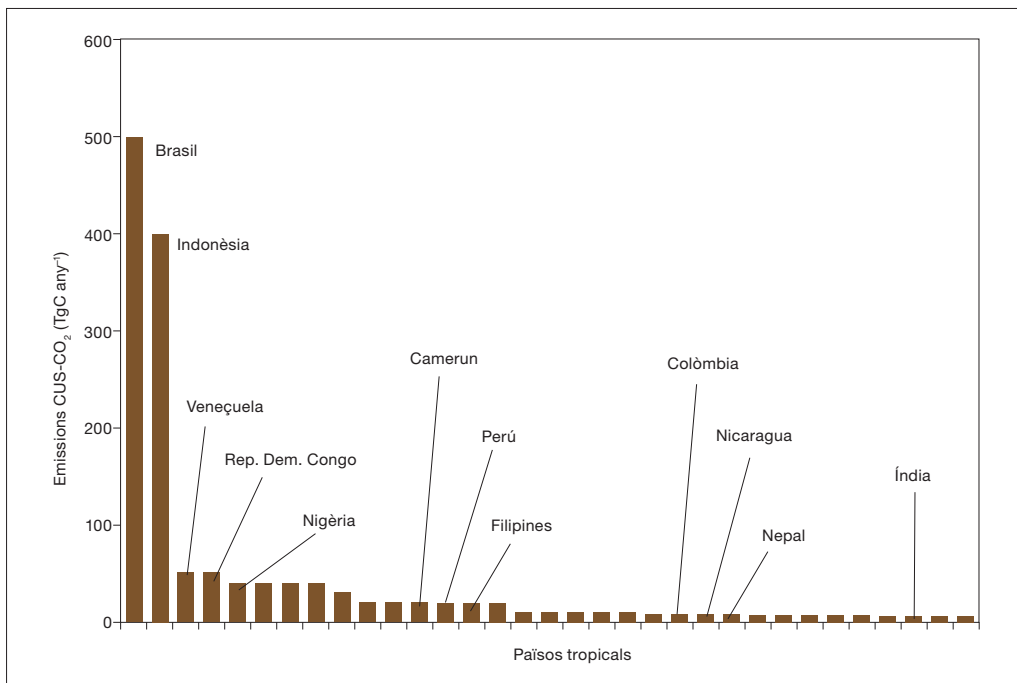


Figura 5. Emissions netes de carboni (CO₂) del canvi en els usos del sòl i silvicultura dels països tropicals.
Font: Houghton 2008.

L'anàlisi dels fluxos de carboni en diferents ecosistemes a Catalunya suggereix la presència d'un augment dels embornals de diòxid de carboni en boscos (Gracia *et al.* 2010). Les causes d'aquest augment són el creixement de nous boscos en terres de cultiu abandonades i l'augment de superfície de plantacions forestals. Aquestes tendències a Catalunya són consistents amb un guany net de superfície forestal a tot el territori espanyol de quasi 300.000 hectàrees per any durant el període 2000-2005 (FAO 2006). Les àrees cultivades són fonts netes d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, particularment d'òxids de nitrogen, consistents amb un patró també trobat a la resta d'Europa (Janssens *et al.*, 2005; Schulze *et al.*, 2009).

3.2.4. Emissions globals de metà

A més de les emissions de CO_2 , les emissions de metà (CH_4) són un component important del balanç global de carboni. Atès que la seva concentració és més baixa que la del CO_2 , les bandes d'absorció d'infraroig estan menys saturades i per tant el seu potencial d'escalfament és 25 vegades més alt que el del CO_2 (IPCC 2007). El CH_4 es forma majoritàriament durant la descomposició de la matèria orgànica en condicions de deficiència d'oxigen comunes en llacs, aiguamolls, camps d'arròs i altres condicions naturals o de gestió on l'aigua inunda ecosistemes terrestres. Els animals remugants com les vaques i els bous també contribueixen.

En anys recents, particularment el 2007 i el 2008, la concentració de CH_4 a l'atmosfera va augmentar després de dècades de concentracions estables (Rigby *et al.*, 2008). Aquest creixement va coincidir amb dos anys de temperatures altes a l'Àrtic a causa de l'augment d'absorció d'energia solar en l'oceà que va tenir lloc com a conseqüència de la disminució rècord de la capa de gel àrtic. Les temperatures altes estimulen la metanogènesi, el procés de descomposició de matèria orgànica en condicions pobres d'oxigen, i es creu que els llacs àrtics i els aiguamolls van jugar un paper important en l'augment de CH_4 observat recentment (Canadell i Raupach, 2009). Anàlisis posteriors indiquen que els ecosistemes tropicals també van tenir un paper important en aquest augment recent de les emissions. Aquesta

sensibilitat alta de les emissions de CH_4 a la temperatura suggereix que ecosistemes d'arreu del món amb aigua abundant poden esdevenir fonts de CH_4 en un món futur més càlid.

3.3. Embornals naturals de diòxid de carboni

De totes les emissions de carboni provinents d'activitats humanes al voltant de la meitat són absorbides pels embornals naturals de CO_2 en els oceans i els ecosistemes terrestres. Concretament, durant els últims 50 anys només el 43% de totes les emissions provinents d'activitats humanes han restat a l'atmosfera indicant el paper vital que els embornals de CO_2 juguen en frenar la progressió del canvi climàtic (Canadell *et al.*, 2007a; Raupach *et al.*, 2008; Le Quéré *et al.*, 2009). De fet hom podria considerar l'acció d'aquests embornals com un descompte de més del 50% del canvi climàtic que observariem si no fos per aquests embornals. El valor econòmic d'aquests embornals és de bilions de dòlars anuals si s'haguessin de pagar els mateixos serveis a través dels mercats financers de carboni que existeixen actualment (Canadell i Raupach, 2008).

La dinàmica d'aquests embornals ha estat una propietat molt impressionant del sistema planetari que ha sobtat en part a la comunitat científica per la seva constància i resiliència al llarg del temps i sota condicions de pertorbació molt diferents. Això queda ben demostrat amb el fet que durant la dècada dels cinquanta, les activitats humanes emeten uns 2 PgC a l'any, i al voltant d'1 Pg (la meitat) va ser absorbit pels embornals naturals de CO_2 . Cinquanta anys més tard les activitats humanes emeten uns 10 PgC a l'any, i al voltant de 5 PgC (la meitat) són absorbits pels oceans i pels ecosistemes terrestres (Canadell *et al.*, 2007a; Le Quéré *et al.*, 2009). Tanmateix, recentment s'han detectat canvis en l'eficiència d'aquests embornals el quals es discuteixen en detall en una secció més endavant.

3.3.1. Els ecosistemes terrestres

Durant el període 2000-2008, els ecosistemes terrestres van absorbir una mitjana anual de $3,0 \pm 0,9$ PgC (Le Quéré *et al.*, 2009). Aquesta quantitat és el 30% del total de les emissions antropogèniques i tres vegades més gran que el flux

durant la dècada dels seixanta. Aquest augment és el resultat directe de l'augment del CO_2 atmosfèric que força directament un dels processos més importants d'absorció de CO_2 , la fotosíntesi.

Es creu que els ecosistemes terrestres es van convertir en embornals nets de CO_2 a meitats del segle passat quan el forçament del CO_2 sobre la fotosíntesi va començar a créixer exponencialment (McGuire *et al.*, 2001; Sitch *et al.*, 2008). La quantitat total de carboni emmagatzemat en la nova biomassa i en els sòls és incerta atesa, en part, la incertesa de les emissions provinents de la desforestació.

Una característica important d'aquest flux és que és molt variable d'un any per l'altre en comparació amb l'embornal dels oceans. La biosfera terrestre esdevé de tant en tant una font neta de CO_2 , particularment durant anys molt calorosos, mentre que altres anys pot doblar el flux mitjà d'absorció de CO_2 . Això és degut a les oscil·lacions climàtiques que influencien els processos d'absorció i d'emissió de CO_2 en les plantes i en l'extensió dels focs. Aquests canvis sovint són una conseqüència de la variabilitat regional o planetària a causa d'erupcions volcàniques que refreden la terra i a oscil·lacions climàtiques com el Niño-Southern Oscillation que escalfa la terra i canvia alguns patrons de pluja (Jones *et al.*, 2001; Jones i Cox, 2001; Keeling i Revelle, 1985).

A més dels processos més directament relacionats amb la fotosíntesi i la respiració (aquesta última tant de les plantes com dels sòls), hi ha una gran varietat de processos que es creu que contribueixen a la dinàmica dels embornals de CO_2 dels ecosistemes terrestres. Aquests inclouen tot un seguit de processos moderats per les activitats humanes com l'expansió de boscos en camps abandonats, la silvicultura, la gestió de boscos per a la prevenció de focs, i el drenatge de sòls orgànics (Canadell *et al.*, 2007b). L'atribució d'aquests processos a diferents fluxos té moltes incerteses que dificulten entendre la possible dinàmica d'aquests embornals en el futur i, per tant, la natura i la intensitat de les retroaccions (*feedbacks*) entre el cicle de carboni i el sistema climàtic.

3.3.2. Els oceans

L'oceà constitueix l'únic embornal amb un flux net continu des de principis de la revolució industrial.

Durant aquest període s'estima que l'oceà ha acumulat uns 140 ± 25 PgC amb una taxa d'absorció de CO_2 de 2,3 PgC a l'any durant el període 2000-2008. Com l'embornal terrestre, l'oceà també ha crescut en paral·lel al creixement de les emissions antropogèniques que forcen els mecanismes d'absorció. Els oceans absorben 1,5 PgC a l'any durant la dècada dels seixanta.

L'oceà del Sud és l'oceà més important en absorbir CO_2 antropogènic sent responsable del 40% de les emissions totals absorbides pels oceans durant el 2008 (Khaliwala *et al.*, 2009). Els oceans tropicals són emissors nets de CO_2 a causa de les aigües càlides i als corrents marins, i a l'oceà Atlàntic Nord és on es troben les concentracions verticals integrades més altes amb una seqüestració del 23% del total de carboni antropogènic en els oceans malgrat que només cobreix un 15% de la superfície oceànica. El 50% de tot el CO_2 antropogènic a l'oceà es troba per sobre els 400 metres (Sabine *et al.*, 2004).

El procés més important d'absorció de CO_2 antropogènic a l'oceà és la bomba de difusió. Aquesta porta CO_2 de l'atmosfera, on les concentracions són més altes, cap a la superfície dels oceans, on les concentracions són més baixes. L'existència de corrents que enfonsen aigua cap a les profunditats assegura que les capes superficials no se saturin de CO_2 i per tant, la capacitat d'absorció pot perdurar durant centenars d'anys (Orr *et al.*, 2001; Sabine *et al.*, 2004). Això contrasta amb l'embornal de la biosfera terrestre que es pot saturar a nivells alts de CO_2 i a causa de l'escalfament de l'atmosfera (Canadell *et al.*, 2007b). Si mai paressin les emissions antropogèniques, els oceans podrien netejar la totalitat d'excés de CO_2 a l'atmosfera, però en un lapse de temps de milers d'anys.

3.4. El CO_2 atmosfèric i el balanç global de carboni

A escala global, el CO_2 atmosfèric augmenta perquè hi ha una manca de balanç entre les emissions de CO_2 a l'atmosfera (procedents de la combustió d'energia fòssil i dels canvis en els usos del sòl) i l'absorció per part dels embornals de CO_2 a la terra emergida i als oceans. Durant el període 2000-2008, les emissions mitjaneres van ser de 9,1 PgC a l'any i l'absorció va ser 5,0 PgC a l'any

(aproximadament en parts iguals entre els embornals de la terra i els oceans) (figura 6). Això va deixar 4,1 PgC a l'any per acumular a l'atmosfera i va augmentar la concentració de CO₂ a un ritme de 1,9 parts per milió (ppm) per any (Le Quéré *et al.*, 2009). Aquest creixement mostra una acceleració exponencial de les emissions antropogèniques durant l'última dècada ja que el creixement anual durant els 30 anys previs havia estat al voltant de 1,5% per any (Canadell *et al.*, 2007a; Le Quéré *et al.*, 2009). La concentració de CO₂ a l'atmosfera era de 385 ppm el 2008, un 38% per sobre la concentració anterior a la revolució industrial que era de 280 ppm (Conway *et al.*, 2009).

Les quantitats dels diferents components del balanç de carboni per al període 1958-2008 es troben a la taula 1. El 1958 és el primer any en què la concentració de CO₂ atmosfèric es va començar a mesurar amb precisió a l'observatori de Mauna Loa a Hawaii. La figura 7 ensenya l'evolució dels components de balanç global de carboni des del principi de la revolució industrial. Perquè hi hagi un equilibri total, cal que el flux total de fonts de CO₂ sigui el mateix que el flux dels embornals (incloent-hi l'atmosfera), però atès que els diferents components es calculen independentment, sovint hi ha un residu (no representat a la figura).

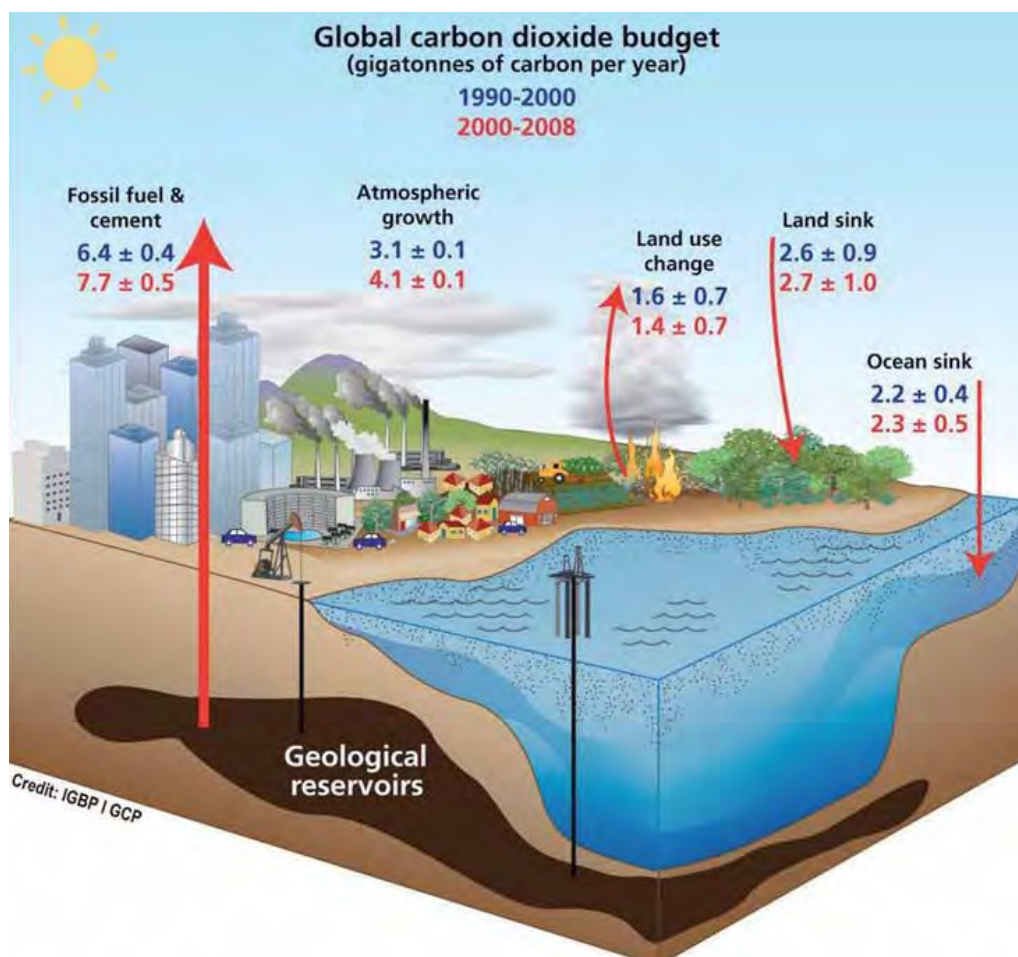


Figura 6. Il·lustració de les emissions i embornals globals de carboni-CO₂ per als períodes 1990-1999 i 2000-2008.
Font: IGBP/Global Carbon Project.

	1960-1970	1990-2000	2000-2008
Fonts de CO₂ (PgC any⁻¹)			
Combustibles fòssils + ciment	3,1 ± 0,2	6,4 ± 0,4	7,7 ± 0,4
Canvis en usos del sòl	1,5 ± 0,7	1,6 ± 0,7	1,4 ± 0,7
Embornals de CO₂ (PgC any⁻¹)			
Creixement CO ₂ atmosfèric	1,8 ± 0,1	3,1 ± 0,1	4,1 ± 0,1
Embornal oceànic	1,5 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,3 ± 0,4
Embornal terrestre	1,2 ± 0,9	2,6 ± 0,9	3,0 ± 0,9
Residu	0,1 ± 1,3	0,0 ± 0,0	-0,3 ± 1,3
Distribució de les emissions totals			
Atmosfera	0,39 ± 0,07	0,40 ± 0,04	0,45 ± 0,04
Oceà	0,33 ± 0,10	0,28 ± 0,06	0,26 ± 0,05
Terra	0,28 ± 0,12	0,32 ± 0,07	0,29 ± 0,06

Taula 1. Fonts i embornals de CO₂ per a tres dècades amb la seva participació de totals.

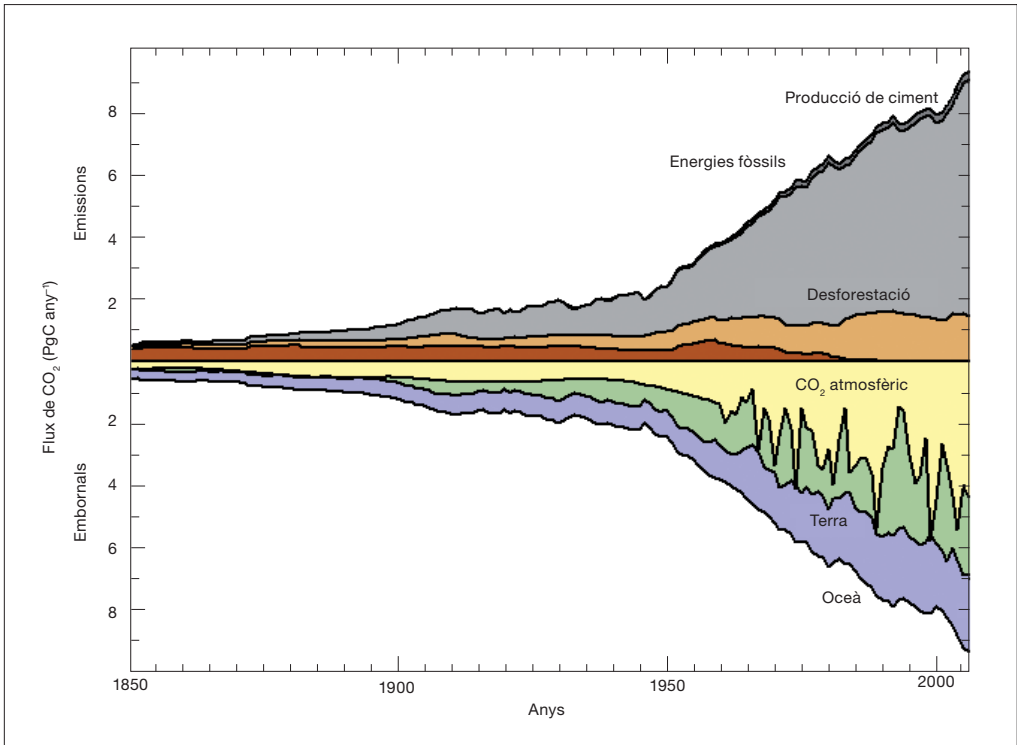


Figura 7. Evolució de la pertorbació humana del cicle de carboni per al període 1850-2008. Es mostren tots els components de les emissions de carboni-CO₂ i els embornals que formen part del balanç global. En les emissions dels usos del sòl el color marró fosc correspon a les emissions en regions temperades i el marró clar a les emissions en regions tropicals. La suma de totes les emissions a la part de dalt del gràfic ha de ser igual a la suma de tots els embornals a la part de sota.
Font: Global Carbon Project.

3.5. Vulnerabilitats en el cicle de carboni

El coneixement sobre els processos responsables dels embornals naturals de CO_2 ha portat a la conclusió que l'eficiència dels embornals disminuirà en un futur. Durant aquesta dècada una sèrie de models climàtics amb representació del cicle de carboni han trobat que la retroacció entre la dinàmica del cicle natural de carboni i el sistema climàtic podria resultar en un augment entre 20 i 200 ppm de CO_2 a l'atmosfera a finals d'aquest segle. Aquesta quantitat de CO_2 seria addicional a aquella de les emissions de combustibles fòssils i canvis en els usos dels sòls, i faria accelerar l'escalfament global entre 0,1 i 1,5 °C (Friedlingstein *et al.*, 2006).

La possible disminució en l'eficiència dels embornals seria deguda a canvis en els processos terrestres i marins que absorbeixen i emeten CO_2 amb un flux net cap als oceans i ecosistemes terrestres a la baixa o insensible a augments futurs d'emissions de CO_2 . Aquesta tendència podria ser el resultat de tres factors. En primer lloc, hi ha processos que faran disminuir la capacitat d'absorbir CO_2 com, per exemple, les temperatures altes o els déficits hídrics. En segon lloc, altres processos augmentaran les emissions cap a l'atmosfera com la descomposició de matèria orgànica en regions on el pergelisòl es desgeli. I per

últim, les escales de temps dels processos d'absorció treballen a unes escales de temps més lentes que la taxa a la qual les emissions de CO_2 creixen. Aquestes tres possibilitats no són exclusives.

Les seccions següents adrecen diversos mecanismes i estocs de carboni que són o es creuen que seran vulnerables en el futur (figura 8).

3.5.1. Eficiència dels embornals de CO_2

Malgrat que els models climàtics que incorporen el cicle de carboni han suggerit una disminució en l'eficiència dels embornals naturals durant el transcurs d'aquest segle, anàlisis atmosfèriques recents han demostrat que aquest procés ja va començar el segle passat. La fracció mitjana de les emissions totals que es queda a l'atmosfera va ser del 43% entre el 1958 i el 2008 però, durant aquest període, la fracció va augmentar el $0,3 \pm 0,2\%$ cada any (figura 9; Canadell *et al.*, 2007a; Raupach *et al.*, 2008; Le Quéré *et al.*, 2009). Aquest augment és la conseqüència directa de la disminució en l'eficiència dels embornals de CO_2 d'un 60% al 55% del total d'emissions antropogèniques. Això vol dir que per cada tona de CO_2 emesa a l'atmosfera, els embornals eren capaços d'extraure'n 600 kg fa 50 anys i només 550 kg actualment. Tot i que és una diferència petita, la integració en els 50 anys

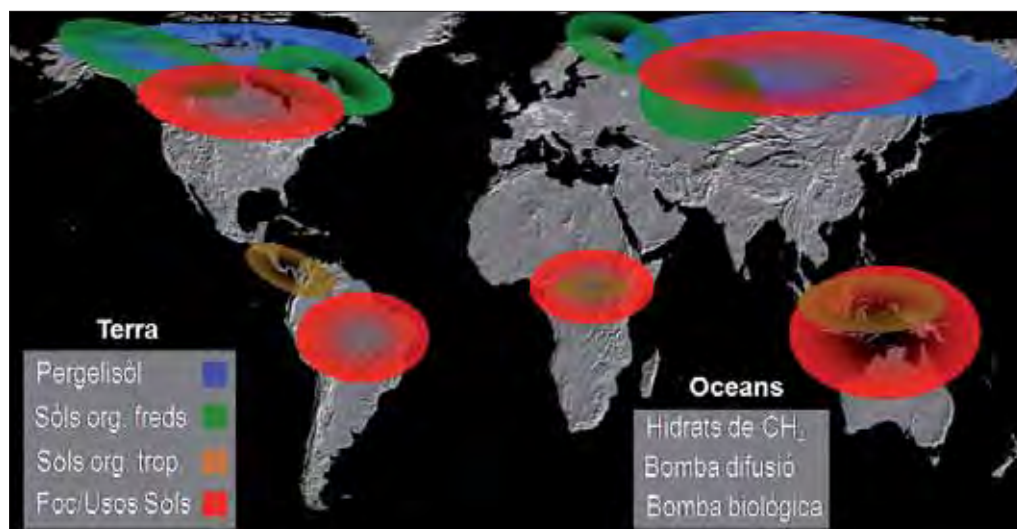


Figura 8. Representació gràfica dels estocs de carboni i processos vulnerables al canvi climàtic i a canvis en els usos de sòl que resultarien en retroaccions positives i accelerarien el canvi climàtic.

Font: Gruber *et al.*, 2004 i Canadell *et al.*, 2007.

i el fet que les emissions ara són quatre vegades més grans que fa 50 anys, la concentració de CO_2 a l'atmosfera és un 18% més alta de la que seria si no s'hagués produït aquesta disminució en l'eficiència dels embornals (Canadell *et al.*, 2007a).

L'atribució d'aquesta tendència als embornals terrestres i marins mostra que només hi ha una tendència estadísticament significativa en els oceans. Així, als oceans, malgrat l'augment ràpid en l'absorció de CO_2 durant els últims 50 anys, hi ha hagut una disminució en la capacitat d'absorció (la fracció del total d'emissions) d'aquest embornal durant els últims 20 anys; això vol dir que el

flux cap a l'oceà ha augmentat més lentament que l'augment del CO_2 a l'atmosfera (Le Quéré *et al.*, 2007). Es creu que aquesta disminució està lligada a la disminució de l'ozó estratosfèric que porta a un augment en la intensitat dels vents i aquests a un augment en la ventilació d'aigües profundes riques en CO_2 (Lenton *et al.*, 2009). Això fa que el flux de CO_2 de l'oceà cap a l'atmosfera augmenti fent disminuir la capacitat neta de seqüestració de CO_2 . L'eficiència de l'embornal en l'Atlàntic Nord també ha disminuït durant l'última dècada però no queda clar si és deguda al canvi climàtic o a una anomalia regional temporal (Schuster *et al.*, 2009).

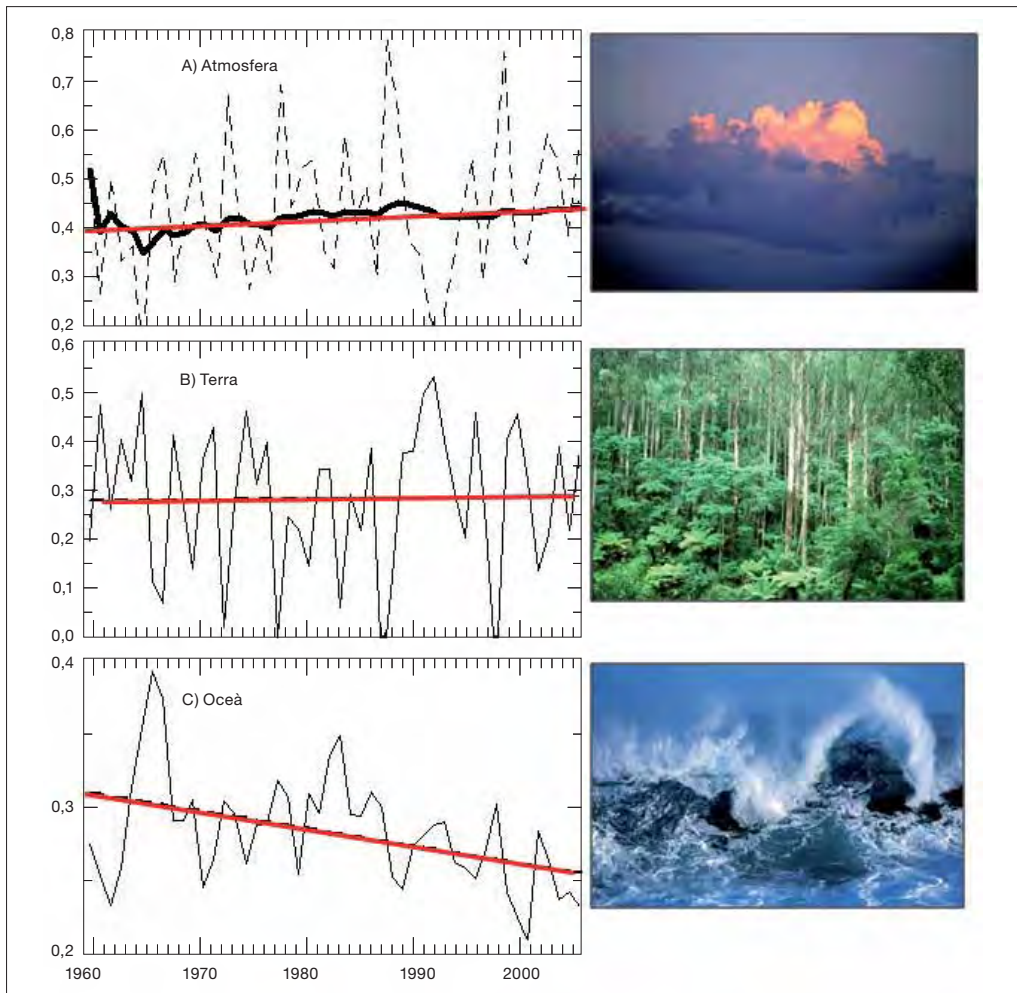


Figura 9. Tendències en les fraccions d'acumulació de carboni- CO_2 provinents d'activitats humanes en l'atmosfera, ecosistemes terrestres i oceans durant els últims 50 anys.

Font: Canadell *et al.*, 2007.

3.5.2. Carboni congelat

La descomposició de la matèria orgànica en sòls congelats (pergelisòl) de les regions nòrdiques es considera una de les retroaccions potencialment més grans en la pertorbació del sistema climàtic. Aquesta prominència és deguda als grans estocs de carboni emmagatzemats en aquelles regions i al fet que s'espera que l'escalfament antropogènic sigui el doble de la mitjana global en aquestes regions (IPCC, 2007).

Aquest carboni es va dipositar durant milers d'anys de creixement de moltes, herbes i plantes llenyoses seguit d'una descomposició molt lenta deguda a les baixes temperatures. El resultat ha estat un acumulament progressiu de matèria orgànica constituint els dipòsits de carboni orgànic més grans a la superfície terrestre. Anàlisis recents indiquen que els estocs de carboni en la regió circumpolar del Nord contenen 1.650 Pg C, aproximadament el doble del carboni contingut a l'atmosfera (Tarnocai *et al.*, 2009). Aquesta també és una quantitat quasi el doble de la que s'havia estimat prèviament en part gràcies a la descoberta de vastos dipòsits de carboni en sediments a Sibèria anomenats *yedomas* (Zimov *et al.*, 2006) i en els deltes dels majors rius d'Alaska, Canadà i Rússia (Tarnocai *et al.*, 2009).

Aquesta quantitat tan gran de carboni no indica necessàriament una gran vulnerabilitat a l'escalfament global, però suggereix que el desglaçament de fins i tot una fracció petita d'aquest estoc portaria a un increment important d'emissions cap a l'atmosfera. Amb la predicció climàtica del fet que el 90% del pergelisòl superficial es descongelarà a finals de segle (Lawrence *et al.*, 2005; Lawrence *et al.*, 2008) és d'esperar un augment significatiu d'emissions provinents d'aquesta part de la Terra. Estimacions basades en models i mesures en el camp indiquen que entre 50 i 100 Pg C podrien ser emesos durant aquest segle (Zhuang *et al.*, 2006; Khvorostyanov *et al.*, 2008; Schuur *et al.*, 2009). La detecció de carboni molt vell en la respiració de matèria orgànica en àrees on el pergelisòl s'està descongelant a Alaska és una demostració de l'alta sensibilitat d'aquest carboni acumulat fa milers d'anys (Schuur *et al.*, 2009).

El desglaçament del pergelisòl i la subsegüent descomposició de matèria orgànica és un dels processos que es considera que pot tenir propietats

irreversibles. El treball experimental al camp amb l'ús de models suggereix que quan la descomposició de matèria orgànica arriba a certes profunditats en el perfil del sòl, el procés de descongelació del pergelisòl esdevé autosuficient a través de l'escalfor generada per l'activitat dels microorganismes, similar a l'escalfor generada dins d'una pila de compost. Això portaria a un procés irreversible d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle que duraria centenars d'anys i independent de la trajectòria de l'escalfament antropogènic (Zimov *et al.*, 2006; Khvorostyanov *et al.*, 2008).

3.5.3. Carboni inundat

A més dels dipòsits de carboni congelats, hi ha grans quantitats de carboni en aiguamolls en les regions boreals, subàrtiques i tropicals. S'estima que hi ha uns 400 Pg C en aiguamolls de climes freds (Sabine *et al.*, 2004; Limpens *et al.*, 2008) i uns 70 Pg C en aiguamolls de regions tropicals majoritàriament al Sud-est d'Àsia, i particularment a Indonèsia i Malàisia (Jaenicke *et al.*, 2008; Hooijer *et al.*, 2009).

La vulnerabilitat d'aquests dipòsits de carboni es relaciona amb el canvi climàtic (tant l'escalfament com els canvis de precipitació) i les activitats humanes de drenatge i desforestació, aquests últims particularment als aiguamolls dels tròpics. Experiments recents en el camp indiquen que per cada grau d'escalfament de l'aire els aiguamolls poden alliberar globalment fins un 0,1 Pg C per any (Dorrepaal *et al.*, 2009). En els tròpics, la desforestació, acompanyada sovint de l'ús de foc, i el drenatge dels aiguamolls són les causes principals d'emissions. S'estima que en els propers 60 anys uns 10 Pg C s'alliberaran de la descomposició dels sòls orgànics exposats pel drenatge, i uns 20 Pg C més, de la crema i la descomposició dels arbres en el procés de desforestació (Hooijer *et al.*, 2009). Canvis en els patrons de precipitació també modularan les emissions amb un probable augment en els aiguamolls d'Indonèsia a causa d'estacions seques més intenses i llargues projectades pel final d'aquest segle (Li *et al.*, 2007).

3.5.4. Carboni hidratat

Els hidrats de gas, concretament de CH₄, són una forma molt comuna de carboni a la Terra. Són el resultat de la barreja de molècules de CH₄ i

aigua, congelades en àrees de pergelisòl a l'Àrtic i en sediments als marges continentals on les condicions de pressió i de temperatura són apropiades per a la seva formació. Es consideren una possible font grandiosa d'energia encara no explotada, i a la vegada, un possible perill pel canvi climàtic si se n'alliberen quantitats significants en el futur (Krey *et al.*, 2009).

Hi ha dues raons per les quals els hidrats de CH_4 es consideren un possible perill i una sorpresa dins les retroaccions carboni-clima. La primera raó es deu a les vastes quantitats d'aquest compost que existeixen a la Terra. S'estima que els dipòsits d'hidrats de CH_4 excedeixen els 1.000 Pg C amb un certesa molt alta, i entre 1.000 i 10.000 Pg C amb una certesa mitjana (Krey *et al.*, 2009). Per comparació, els dipòsits de combustibles fòssils (petroli, carbó, gas) són al voltant de 5.000 Pg C (Rogner, 1997). Això vol dir que la desestabilització de fins i tot una fracció petita d'hidrats de CH_4 podria comportar quantitats molt importants de CH_4 a l'atmosfera i, per tant, d'escalfament global.

La segona raó és que es creu que els hidrats de CH_4 han jugat un paper important en els climes passats i particularment en canvis climàtics abruptes (MacDonald, 1990), sent l'escalfament global un factor de desestabilització. Es creu que els forats en els sediments oceànics i les esclavissades submarines han alliberat en el passat entre 1 i 5 Pg C en casos individuals, fet que comportaria un augment del 0,2 W m^{-2} del *forçament radiatiu* si tot el CH_4 arribés a l'atmosfera (Archer, 2007). Malgrat que és improbable que una fracció gran del CH_4 arribi a l'atmosfera (Lamarque, 2008) aquest *forçament radiatiu* comparat amb l'observat des de temps preindustrials (1,6 W m^{-2} , IPCC, 2007) dona un marc de referència del possible impacte.

Malgrat aquests riscos importants, el procés físic de desestabilització no es coneixen suficientment per poder-los incorporar en els models climàtics que actualment no tenen cap representació d'hidrats de CH_4 . De fet, l'opinió d'experts indica que en aquest segle hi ha més possibilitats d'emissions dels hidrats de CH_4 atesa la seva explotació com a font d'energia que no de la possible desestabilització deguda a l'escalfament global que és més probable que es

doni a escales de centenars a milers d'anys (Krey *et al.*, 2009).

3.5.5. Carboni vegetal

Una de les primeres retroaccions identificades a la biosfera terrestre va ser la possible transició cap a caràcter de sabana de l'Amazònia a causa de la disminució de la precipitació durant la segona part d'aquest segle i a causa del canvi climàtic (Cox *et al.*, 2000). Les conseqüències d'aquesta transformació són l'alliberament de grans quantitats de CO_2 de la descomposició i oxidació de matèria orgànica continguda a la biomassa i als sòls durant la transició d'un sistema d'alta densitat de carboni, el bosc tropical, a un sistema de baixa densitat, la sabana. Malgrat que no tots els models climàtics prediuen una disminució de la precipitació a l'Amazònia de la mateixa magnitud, altres anàlisis amb models dinàmics de vegetació indiquen el possible augment en emissions de focs com a conseqüència dels dèficits hidrològics en diverses regions de la Terra (Sitch *et al.*, 2008). Aquestes anàlisis assenyalen fins un màxim d'emissions de 3-4 Pg C a l'any les quals són quantitats suficients per augmentar l'escalfament global amb un grau de temperatura addicional.

A més de les emissions com a conseqüència del foc, la respiració de CO_2 dels ecosistemes és una via molt ràpida i dominant d'emissions de CO_2 a l'atmosfera, particularment en condicions amb dèficits hídrics. Durant l'ona de calor a Europa a l'estiu del 2003, les emissions de respiració van excedir el flux d'absorció de CO_2 a través de fotosíntesis amb emissions netes de 0,4 Pg C. Aquestes emissions van ocórrer en un temps molt curt i van desfer l'equivalent de 4 anys de seqüestració de carboni per part dels ecosistemes terrestres europeus (Ciais *et al.*, 2005).

3.6. Pic de CO_2 : implicacions per aconseguir estabilització atmosfèrica

Sovint és difícil d'entendre quines són les implicacions de l'evolució del balanç global de carboni per tal d'establir trajectòries d'emissions que assoliran estabilització atmosfèrica de CO_2 a nivells que evitin la interferència humana perillosa en el sistema climàtic. Aquest és l'objectiu de la Convenció Marc del Canvi Climàtic de les Nacions

Unides i dels esforços de polítiques nacionals i internacionals que s'estan implementant.

Preguntes claus sobre l'estabilització del CO_2 atmosfèric són: *a)* quines són les implicacions de les trajectòries passades i actuals d'emissions de CO_2 i altres gasos amb efecte d'hivernacle?, i *b)* quines són les implicacions de les dinàmiques dels processos naturals que emeten i absorbeixen CO_2 ? Quin és el nivell de mitigació necessari per no excedir nivells específics de la temperatura global?

Mentre les implicacions de la primera pregunta són més òbvies, sovint les implicacions dels canvis en la capacitat dels embornals és omesa; en part per la dificultat o impossibilitat de gestionar-los i en part pel desconeixement de com el sistema planetari funciona d'una manera integrada.

Una aproximació per integrar la resposta global ha estat establerta recentment i es basa en la relació probabilística entre les emissions cumulatives de CO_2 i la temperatura que no es voldria excedir per sobre el nivell preindustrial (Allen *et al.*, 2009; Meinshausen *et al.*, 2009; Matheus *et al.*, 2009). Si un pot definir quin és el valor de temperatura global màxima per evitar la interferència perillosa en el sistema climàtic, llavors es pot calcular el total màxim de gasos que es poden emetre sota diferents nivells d'incertesa que representen la diversitat de respostes de models i processos considerats. El següent pas és escollir un nivell d'incertesa d'acord amb una avaluació de riscos i decidir com atribuir les emissions permeses entre les diferents nacions. Això darrer no es tracta aquí ja que són qüestions d'acords polítics basats en l'equitat global i allò que és factible fer des d'un punt de vista tecnològic, institucional i social.

No hi ha un valor màxim d'escalfament global que la comunitat científica hagi dictat més enllà del qual hi hauria la interferència perillosa amb el clima. Tanmateix, el valor de 2°C per sobre de la temperatura preindustrial s'ha escollit en alguns cercles científics i polítics (Schellnhuber, 2007). Recentment aquesta temperatura màxima ha estat adoptada a la Conferència de les Parts (COP15, Novembre 2009) de la Convenció del Canvi Climàtic amb l'Acord de Copenhaguen. Majoritàriament, la selecció d'aquesta tempe-

tura límit ha estat el resultat d'un judici social informat per la ciència del canvi climàtic.

Anàlisis climàtiques mostren que amb un nivell de certesa del 50%, 2°C d'escalfament global s'assoleixen amb emissions totals de 1.000 Pg C (Allen *et al.*, 2009). Com que des de la revolució industrial ja s'han emès al voltant d'un 500 Pg C, el món té un subsidi de 500 Pg d'emissions de carboni més per repartir entre 192 països. Això justifica que assumint els 2°C d'escalfament màxim tot just ara estem al pic planetari de CO_2 .

La taxa mitjana de mitigació global necessària per descarbonitzar la societat abans d'excedir emissions de 500 Pg C és del 6% anual considerant les trajectòries actuals d'emissions de CO_2 i permetent 10 anys més de creixement d'emissions abans de començar amb un creixement negatiu (figura 10). Aquests anys de transició són importants per generar canvis institucionals i estructurals suficients que permetin taxes de mitigació altes i sostenibles durant diverses dècades.

Les taxes de mitigació es fan més grans per cada any que es retarda l'inici de la davallada d'emissions, i també si es vol augmentar els nivells de certesa de no excedir la temperatura escollida. Un retard de 10 anys en l'inici de la davallada d'emissions augmenta les taxes de mitigació al 12% a l'any, que és un esforç comparable a si es vol aug-

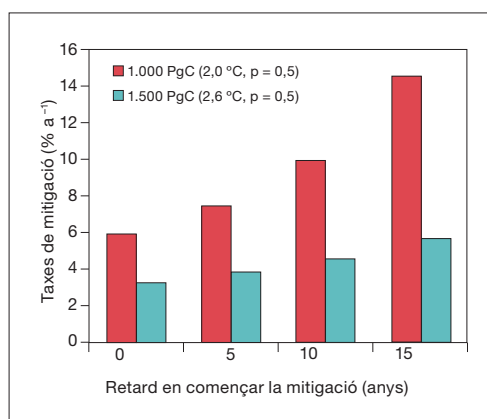


Figura 10. Taxes de mitigació (reduccions) d'emissions de carboni requerides per no excedir 2°C amb una probabilitat del 50% (corresponents a un total de 1.000 PgC d'emissions acumulades des de la revolució industrial) i $2,6^\circ\text{C}$ (corresponents a 1.500 PgC) 2005 és el punt d'inici.

Font: Raupach *et al.*, 2010.

mentar el nivell de certesa del 50% al 95% (figura 10). És important entendre que un nivell del 50% de certesa de no sobrepassar 2 °C té un risc del 10% d'excedir els 3,0 °C (Allen *et al.*, 2009).

Les taxes de mitigació descrites en els paràgrafs anteriors per un volum total de 1.000 Pg d'emissions de carboni són més grans que les reduccions experimentades per països que han tingut transicions transformatives dels seus sistemes energètics. Aquestes inclouen la transició de descarbonització experimentada per França i per Suècia durant la dècada dels vuitanta, quan es van assolir reduccions del 4-5% anuals. França ho va fer a través de la nuclearització del seu sistema energètic i Suècia a través de l'adopció d'energies renovables i a un augment de l'eficiència en l'ús d'energia. El col·lapse de l'antiga Unió Soviètica va portar reduccions d'emissions de carboni del 7% a l'any durant la dècada dels noranta, acompanyades de col·lapse institucional i d'agitació social.

Un objectiu d'estabilitzar la temperatura global a nivells més alts de 2 °C permetria unes quantitats més grans d'emissions i, per tant, taxes de mitigacions menys restringents (figura 10).

Referències

- ALLEN, M.R.; FRAME, D.J.; HUNTINGFORD, C. [et al.] (2009) «Warming caused by cumulative carbon emissions: towards the trillionth tonne». *Nature* 458, p. 1.163-1.166.
- ARCHER, D. (2007) «Methane hydrate stability and anthropogenic climate change» *Biogeosciences* 4, p. 521-544.
- ARCHER, D.; EBY, M.; BROVKIN, V. [et al.] (2009) «Atmospheric Lifetime of Fossil Fuel Carbon Dioxide». *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 37, p. 117-134.
- BODEN, T.A.; MARLAND, G.; ANDRES, R.J. (2009). *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., DOI 10.3334/CDIAC/00001.
- BUTLER, J. (2010) The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi>>. [Consulta: 10 maig 2010].
- DAVIS, S.J.; CALDEIRA, K. (2010) «Consumption-based accounting of CO₂ emissions». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107, p. 5.687-5.692. DOI 10.1073/pnas.0906974107.
- CANADELL, J.G.; LE QUÉRE, C.; RAUPACH, M.R. [et al.] (2007) «Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, p. 18.866-18.870. DOI 10.1073/pnas.0702737104
- CANADELL, J.G.; PATAKI, D.; GIFFORD, R. [et al.] (2007) «Saturation of the terrestrial carbon sink». A: *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*, CANADELL J.G.; PATAKI D.; PITELKA L. (eds.), Berlin-Heidelberg: The IGBP Series. Springer-Verlag, p. 59-78.
- CANADELL, J.G.; RAUPACH, M.R. (2008) «Managing Forests for Climate Change Mitigation». *Science* 320, p. 1.456-1.457. DOI 10.1126/science.1155458.
- (2009) «Land carbon cycle feedbacks. A: *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications*, SOMMERKORN M.; HASSOL S.J. Oslo: WWF Arctic Programme, agost 2009, p. 69-80.
- CANADELL, J.G.; RAUPACH, M.R.; HOUGHTON, R.A. (2009) «Anthropogenic CO₂ emissions in Africa». *Biogeosciences* 6, p. 463-468.
- CIAIS, P.; REICHSTEIN, M.; VIOVY, N. [et al.] (2005) «Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003». *Nature* 437, p. 529-533.
- CONWAY, T.J.; LANG, P.M.; MASARIE, K.A. (2009) «Atmospheric Carbon Dioxide Dry Air Mole Fractions from the NOAA ESRL Carbon Cycle Cooperative Global Air Sampling Network», 1968-2008, [Versió: 15 juliol 2009] <<ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/flask/event/>>.
- COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D. [et al.] (2000) «Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model». *Nature* 408, p. 184-187.
- DORREPAAL, E.; TOET, S.; VAN LOGTESTIJN, R.S.P. [et al.] (2009) «Carbon respiration from subsurface peat accelerated by climate warming in the subarctic». *Nature* 460. DOI 10.1038/nature08216.
- FAO (2006) *Global Forest Resources Assessment 2005*. FAO Forestry Paper 147. Roma.
- FRIEDLINGSTEIN, P.; COX, P.; BETTS, R. [et al.] (2006) «Climate-carbon cycle feedback analysis. Results from the C4MIP model intercomparison». *J. Clim.* 19, p. 3.337-3.353.
- GRACIA, C.; SABATÉ, S.; VAYREDA, J. [et al.] (2010). *Embornals. Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.

- GRUBER, N.; FRIEDLINGSTEIN, P.; FIELD, C.B. [et al.] (2004) «The vulnerability of the carbon cycle in the 21st Century: An assessment of carbon-climate-human interactions». A: FIELD, C.B.; RAUPACH, M. (eds). *Global Carbon Cycle, integrating human, climate, and the natural world*, Washington DC.: Island Press, p. 45-76.
- GUAN, D.; PETERS, G.; WEBER, C.L.; HUBACEK, K. (2009) «Journey to world top emitter: an analysis of the driving forces of China's recent CO₂ emissions surge». *Geophys. Res. Lett.* 36, L04709.
- JANSSENS, A.; FREIBAUER, A.; SCHLAMADINGER, B.; CEULEMANS, R. (2005) «The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale – a European case study». *Biogeosciences* 2, p. 15-26.
- HOOIJER, A.; PAGE, S.; CANADELL, J.G. [et al.] (2010) «Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia». *Biogeosciences* 7, p. 1-10.
- HOUGHTON, R.A. (2003) «Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000». *Tellus* 55B: 378-390.
- (2008) «Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850-2005». A: *TRENDS: A Compendium of Data on Global Change*. Oak Ridge, Tenn., U.S.A.: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.
- HOUGHTON, R.A.; HALL, F.; GOETZ, S.J. (2009) «Importance of biomass in the global carbon cycle». *Journal of Geophysical Research* 114, G00E03. DOI 10.1029/2009JG000935.
- IMF (2009) International Monetary Fund., World Economic Outlook. Abril 2009.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M. [et al.] (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996 pp.
- JAENICKE, J.; RIELEY, J.O.; MOTT, C., [et al.] (2008) «Determination of the amount of carbon stored in Indonesian peatlands». *Geoderma* 147, p. 151-158.
- JONES, C.D.; COLLINS, M.; COX, P.M.; SPALL, S.A. (2001) «The carbon cycle response to ENSO: a coupled climate-carbon cycle model study». *J. Clim.* 14, p. 4.113-4.129.
- JONES, C.D.; COX, P.M. (2001) «Modeling the volcanic signal in the atmospheric CO₂ record». *Glob. Biogeochem. Cycl.* 15, p. 453-465.
- KEELING, C.D.; REVELLE, R. (1985) «Effects of El-Nino southern oscillation on the atmospheric content of carbon-dioxide». *Meteoritics* 20, p. 437-450.
- KHATIWALA, S.; PRIMEAU, F.; HALL, T. (2009) «Reconstruction of the history of anthropogenic CO₂ concentrations in the ocean». *Nature* 462, p. 346-350, DOI:10.1038/nature08526.
- KHVOROSTYANOV, D.V.; CIAIS, P.; KRINNER, G. [et al.] (2008) «Vulnerability of permafrost carbon to global warming. Part II: sensitivity of permafrost carbon stock to global warming». *Tellus* 60B, p. 265-275.
- KREY, V.; CANADELL, J.G.; NAKICENOVIC, N. [et al.] (2009) «Gas Hydrates: Entrance to a Methane Age or Climate Threat?» *Environ. Res. Lett.* 4: 034007.
- LAMARQUE, J.F. (2008) «Estimating the potential for methane clathrate instability in the 1%-CO₂ IPCC AR-4 simulations». *Geophys. Res. Lett.* 35, L19806.
- LAWRENCE, D.M.; SLATER, A.G. (2005) «A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century». *Geophys. Res. Lett.*, 32 (L2) 4401, DOI 10.1029/2005GL025080.
- LAWRENCE, D.M.; SLATER, A.G.; ROMANOVSKY, V.E.; NICOLSKY, D.J. (2008) «Sensitivity of a model projection of near-surface permafrost degradation to soil column depth and representation of soil organic matter». *J. Geophys. Res.* 113: F02011, DOI 10.1029/2007JF000883.
- LE QUÉRÉ, C.; RAUPACH, M.R.; CANADELL, J.G. [et al.] (2009) «Trends in the sources and sinks of carbon dioxide». *Nature Geoscience*, DOI: 10.1038/ngeo689.
- LE QUÉRÉ, C.; RÖDENBECK, Ch.; BUITENHUIS, E.T. [et al.] (2007) «Saturation of the Southern Ocean CO₂ sink due to recent climate change». *Science* 316, p. 1.735-1.738.
- LENTON, A.; CODRON, E.; BOPP, L. [et al.] (2009) «Stratospheric ozone depletion reduces ocean carbon uptake and enhances ocean acidification». *Geophys. Res. Lett.* 36: L12606.
- LI, W.; DICKINSON, R.E.; FU, R. [et al.] (2007) «Future precipitation changes and their implications for tropical peatlands». *Geophys. Res. Lett.* 34, L01403, DOI 10.1029/2006GL028364.
- LIMPENS, J.; BERENDSE, F.; BLODAU, C. [et al.] (2008) «Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications - a synthesis». *Biogeosciences* 5, p. 1475-1491.

- LOARIE, S.R.; ASNER, G.P.; FIELD, C.B. (2009) «Boosted carbon emissions from Amazon deforestation». *Geophys. Res. Lett.* 36: L14810. DOI 10.1029/2009GL037526.
- MACDONALD, G.J. (1990b) «Role of methane clathrates in past and future climates». *Clim. Change* 16, p. 247-281.
- MATHEWS, H.D.; GILLET, N.P.; STOTT, P.A.; ZICKFELD, K. (2009) «The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions». *Nature* 459, p. 829-832.
- MCGUIRE, A.D.; SITCH, S.; CLEIN, J.S. [et al.] (2001) «Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land-use effects with four process-based ecosystem models». *Glob. Biogeochem. Cycl.* 15, p. 183-206.
- MEINSHAUSEN, M.; MEINSHAUSEN, N.; HARE, W. [et al.] (2009) «Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2 degC». *Nature* 458, p. 1158-1162.
- NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G. [et al.] (2000) *IPCC Special Report on Emissions Scenarios*, Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press.
- ORR, J.C.; MAIER-REIMER, E.; MIKOLAJEWICZ, U. [et al.] (2001) «Estimates of anthropogenic carbon uptake from four three-dimensional global ocean models». *Glob. Biogeochem. Cycl.* 15, p. 43-60.
- PETERS, G.P.; HERTWICH, E.G. (2008) «CO₂ embodied in international trade with implications for global climate policy». *Environ. Sci. Technol.* 42, p. 1.401-1.407.
- RAUPACH, M.R.; MARLAND, G.; CIAIS, P. [et al.] (2007) «Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 14, p. 10.288-10.293.
- RAUPACH, M.R.; CANADELL, J.G.; LE QUÉRE, C. (2008) «Drivers of interannual to interdecadal variability in atmospheric in atmospheric CO₂ growth rate and airborne fraction». *Biogeosciences* 5, p. 1601-1613.
- RAUPACH, M.R.; CANADELL, J.G.; BRIGGS, P.R. [et al.] (2010) «Beyond peak CO₂: sharing and timing of globally capped emissions». *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* [en revisió]
- RIGBY, M.; PRINN, R.G.; FRASER, P.J. [et al.] (2008) «Renewed growth of atmospheric methane». *Geophys. Res. Lett.* 35: L22805. DOI 10.1029/2008GL036037.
- ROGNER, H.H. (1997) «An assessment of world hydrocarbon resources». *Ann. Rev. Energy Environ.* 22, p. 217-262.
- SABINE, C.L.; HEIMANN, M.; ARTAXO, P. [et al.] (2004) «Current status of past trends of the global carbon cycle». A: FIELD, C., RAUPACH, M. (eds.) *Global Carbon Cycle, Integrating Humans, Climate and the Natural World*, Washington, D.C., Island Press, p. 17-44.
- SCHELLNHUBER, H.J.; CRAMER, W.; NAKICENOVIC, N. [et al.] (2006) *Avoiding dangerous climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, 392 p.
- SCHULZE, E.D.; LUYSSAERT, S.; CIAIS, P. [et al.] (2009) «Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance». *Nature Geoscience* 2009, 2 p. 842-850.
- SCHUSTER, U.; WATSON, A.J.; BATES, N.R. [et al.] (2009) «Trends in North Atlantic sea surface pCO₂ from 1990 to 2006». *Deep-Sea Res.* II 56, p. 620-629.
- SCHUUR, E.A.G.; VOGEL, J.G.; CRUMMER, K.G. [et al.] (2009) «The effect of permafrost thaw on old carbon release and net carbon exchange from tundra». *Nature* 459. DOI 10.1038/nature08031.
- SITCH, S.; HUNTINGFORD, C.; GEDNEY, N. [et al.] (2008) «Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMs)». *Glob. Change Biol.* 14, p. 2015-2039. DOI 10.1111/j.1365-2486.2008.01626.
- TARNOCAI, C.; CANADELL, J.G.; MAZHITOVA, G. [et al.] (2009) «Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region». *Glob. Biogeochem. Cycl.* 23: GB2023. DOI 10.1029/2008GB003327.
- VAN DER WERF, G.R.; MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S. [et al.] (2009) «CO₂ emissions from forest loss». *Nature Geoscience* 2, p. 737-738.
- ZIMOV, S.A.; SCHUUR, E.A.G.; CHAPIN III, F.S. (2006) «Permafrost and the Global Carbon Budget». *Science* 312, p. 1612-1613.
- ZHUANG, Q.; MELILLO, J.M.; SAROFIM, M.C. [et al.] (2006) «CO₂ and CH₄ exchanges between land ecosystems and the atmosphere in northern high latitudes over the 21st century». *Geophys. Res. Lett.* 33: L17403. DOI 10.1029/2006GL026972.

4. Balanços de carboni. Emissions

José María Baldasano i Albert Soret

José María Baldasano Recio (Madrid, 1950) és doctor en Ciències Químiques per la Universitat de Barcelona, enginyer químic per l'Institut National Polytechnique de Toulouse (França) i Master on Science en Enginyeria Química per la Universitat de Sherbrooke (Québec, Canadà). Actualment és catedràtic d'Enginyeria Ambiental a la Universitat Politècnica de Catalunya, i responsable del Programa de Doctorat en Enginyeria Ambiental des de 1986. Les seves activitats d'I+D estan orientades a la modelització ambiental, la gestió de residus i els estudis d'impacte ambiental. És consultor del PNUMA en residus i expert de l'IPCC. Actualment és director de l'Àrea de Ciències de la Terra al Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación.

Albert Soret Miravet (Barcelona, 1982) és llicenciat en Química per la Universitat Autònoma de Barcelona. El 2005, últim any de carrera, aconseguí una beca Erasmus per realitzar un projecte de pràctiques a la University of Twente (Holanda) al Departament d'Enginyeria de Materials. De tornada, i un cop acabada la carrera, començà a treballar com a inspector de medi ambient i indústria a l'ECA. Paral·lelament, sense desvincular-se del món acadèmic, cursà el màster d'Enginyeria del Medi Ambient de l'Empresa (Institut Químic de Sarrià) amb una beca atorgada per la Caixa per a estudis de postgrau. Actualment treballa al Departament de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación en l'Àrea de Projectes i Transferència de Tecnologia.

Resum	101
4.1. Canvi climàtic, introducció i causes; emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.	103
4.2. Contextualització de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya en el context internacional	105
4.2.1. Emissions de CO ₂ a nivell mundial	106
4.2.2. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, contextualització en el marc dels països inclosos a l'annex I de la Convenció Marc de les Nacions Unides pel Canvi Climàtic	107
4.3. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya i Espanya	110
4.3.1. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte de la població	114
4.3.2. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte del PIB	116
4.4. Inventari d'emissions a Catalunya, discriminat per sectors i contaminants	117
4.4.1. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per sectors a Catalunya	118
4.4.2. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya	120
4.4.3. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i sectors emissors	123
4.4.4. Emissions directes i difuses	126
4.4.5. Emissions atribuïbles a l'ús d'energia primària	127
4.5. Estratègies i objectius a mitjà i curt termini	132
4.6. Conclusions	132
Referències	133

Resum

Les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH), tant a Catalunya com a Espanya van augmentar en el període 1990-2007. Les emissions a Catalunya van augmentar un 43,2% (de 40.513 a 58.059 kt CO₂ equivalent). Aquestes representaven, l'any base (1990), el 14% d'Espanya, on l'augment va ser del 52,6% (de 289.773 a 442.322 kt CO₂ equivalent l'any 2007).

El Protocol de Kyoto (1997, amb entrada en vigor el 2005) estableix compromisos pel que fa a la reducció en l'emissió de GEH. L'objectiu global és la reducció d'un 5,2% de les emissions globals dels països desenvolupats en el període de compromís —anys 2008-2012— respecte de l'any base (1990). En el cas dels països que formen la UE-15, l'objectiu conjunt és la reducció d'un 8% de les emissions totals. La UE va establir el seu acord intern per tal d'assolir aquest 8% distribuint percentatges diferents entre els estats membres; és l'anomenada «bombolla europea». En el cas d'Espanya, es va establir el límit en l'increment de les emissions en el 15%, límit que no s'està complint.

Els darrers anys les emissions per càpita s'incrementen tant a Catalunya com a Espanya. En el cas de Catalunya, les emissions se situaven en 6,57 t CO₂ eq. per habitant l'any base (1990), que van augmentar a 8,05 l'any 2007. En el cas de d'Espanya, aquestes són superiors; 7,26 t CO₂ eq. per habitant l'any base (1990), que van augmentar fins a 9,79 t CO₂ eq. per habitant el 2007.

Per tal d'analitzar el pes de cada sector d'emissions i de cada contaminant, s'ha pres com a

referència l'*Inventari d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle 7 Sectors IPCC de Catalunya (1990-2007)* (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2009).

A Catalunya, el sector que més contribueix a l'emissió de GEH és el sector de processament d'energia (73,7% de les emissions totals del 2007). Aquest sector engloba les activitats de transport (28,1%), indústries de manufactura i construcció (21,2%), i indústries del sector energètic (14,4%). El sector de processament d'energia va augmentar un 62,8% en el període 1990-2007.

Distingint per GEH, a Catalunya el CO₂ ocupa una posició clarament destacada respecte de la resta de GEH (el 2007 representava el 80,2%). Les seves emissions són principalment per la utilització de combustibles fòssils, sector de processament d'energia i, en menor mesura, a causa de processos industrials, principalment la fabricació de ciment. El segon lloc pel que fa al percentatge total de les emissions, l'ocupa el CH₄ amb un 11,7% i, a continuació, el N₂O amb un 5,8%. Els gasos fluorats en conjunt (SF₆, HFC i PFC) representen el 2,2% del total de les emissions de GEH.

En conjunt, les principals fonts d'emissió són aquelles atribuïbles a l'energia, les quals representen aproximadament el 70% en el cas de Catalunya (i del 76% en el cas d'Espanya). Precisament aquestes són les que més s'incrementen els darrers anys a Catalunya (increment del 62,8% en el període 1990-2007).

4.1. Canvi climàtic, introducció i causes; emissions de gasos amb efecte d'hivernacle

L'actual canvi climàtic s'entén com una modificació en el clima atribuïda directament o indirectament a l'activitat humana, que varia la composició de l'atmosfera a escala global i que se suma a la variabilitat natural del clima observada durant períodes de temps comparables (UNFCCC, 1992).

El clima mundial ha evolucionat sempre d'una manera natural, però s'ha comprovat que actualment els efectes a causa de l'activitat humana tenen influència en els sistemes naturals (IPCC, 2007). La variació de concentració de GEH i aerosols a l'atmosfera, i les variacions de la coberta terrestre, alteren l'actual equilibri energètic de la Terra, tot modificant el balanç radiatiu i introduint nous factors de forçament.

Entre els GEH directes, els més rellevants, tenint en compte l'efecte combinat de la quantitat de les seves emissions i el seu potencial específic d'escalfament, són: en primer lloc, i tenint el gas un efecte dominant, el diòxid de carboni (CO_2), seguit del metà (CH_4) i de l'òxid nitrós (N_2O), i amb una contribució inferior els gasos fluorats: hidrofluorocarburs (HFC), perfluorocarburs (PFC) i hexafluorur de sofre (SF_6).

Les concentracions atmosfèriques actuals de CO_2 i CH_4 superen amb escreix les concentracions procedents de les anàlisis efectuades al gel dels casquets polars que contenen dades dels darrers 650.000 anys. La concentració preindustrial de CO_2 es va incrementar de 280 ppm a 379 ppm l'any 2005 (IPCC, 2007). En el cas del CH_4 , l'actual concentració d'1,774 ppb, supera el doble del seu valor preindustrial. La concentració actual d' N_2O és de 219 ppb, al voltant d'un 18% superior al valor preindustrial. Pel que fa als gasos fluorats (HFC, PFC i SF_6), les seves concentracions són relativament baixes comparades amb els altres gasos, però estan incrementant-se ràpidament els darrers anys.

D'ençà de la Revolució Industrial (mitjan del segle XVIII) les emissions a nivell mundial de CO_2 han augmentat exponencialment (figura 1). Els increments en l'emissió de CO_2 són principalment a causa de la utilització de combustibles fòssils i,

en menor mesura, pels canvis en els usos de sòl. Per contra, l'augment del CH_4 va lligat principalment a l'activitat agrícola i també a la combustió de combustibles fòssils. L'increment en la concentració d' N_2O ve donat principalment per l'agricultura (IPCC, 2007). És a dir que l'activitat humana està propiciant un increment en els nivells dels gasos amb efecte d'hivernacle els últims anys.

Analitzant les emissions mundials de GEH (CO_2 equivalent) en el període 1970-2005 per font d'emissió (figura 2), aquestes augmenten de 29 Pg CO_2 equivalent el 1970 a 47,5 Pg el 2005 (1 Pg = 10^{15} g), amb un important increment en les emissions de CO_2 a causa del sector energètic, però també amb una destacada contribució de les emissions de CH_4 i N_2O . En aquest període (1970-2005) les emissions totals a l'atmosfera de CO_2 equivalent s'estimen en 1300 Pg (JRC/PBL-EDGAR, 2009).

El Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) fou establert conjuntament el 1988 per l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) i el Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA) amb l'objectiu d'analitzar la informació científica necessària per abordar el problema del canvi climàtic i avaluar les seves conseqüències mediambientals i socioeconòmiques, i formular estratègies de resposta. El resultat de la seva feina es resumeix, des de la perspectiva jurídica, en dos tractats internacionals: la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (1992) i el Protocol de Kyoto (1997).

El Protocol de Kyoto estableix compromisos per a determinats països referents a la limitació de les emissions de GEH. Els compromisos signats en el Protocol de Kyoto varien d'un país a un altre, malgrat que el seu objectiu global és la reducció d'un 5,2% de les emissions globals als països desenvolupats en el període de compromís (anys 2008-2012) respecte de l'any base (1990). En el cas dels països que formen la UE-15, l'objectiu conjunt és la reducció d'un 8% de les emissions totals. I la UE va establir el seu acord intern per tal d'assolir aquest 8% distribuint percentatges diferents entre els estats membres (*bombolla europea*). En el cas d'Espanya es

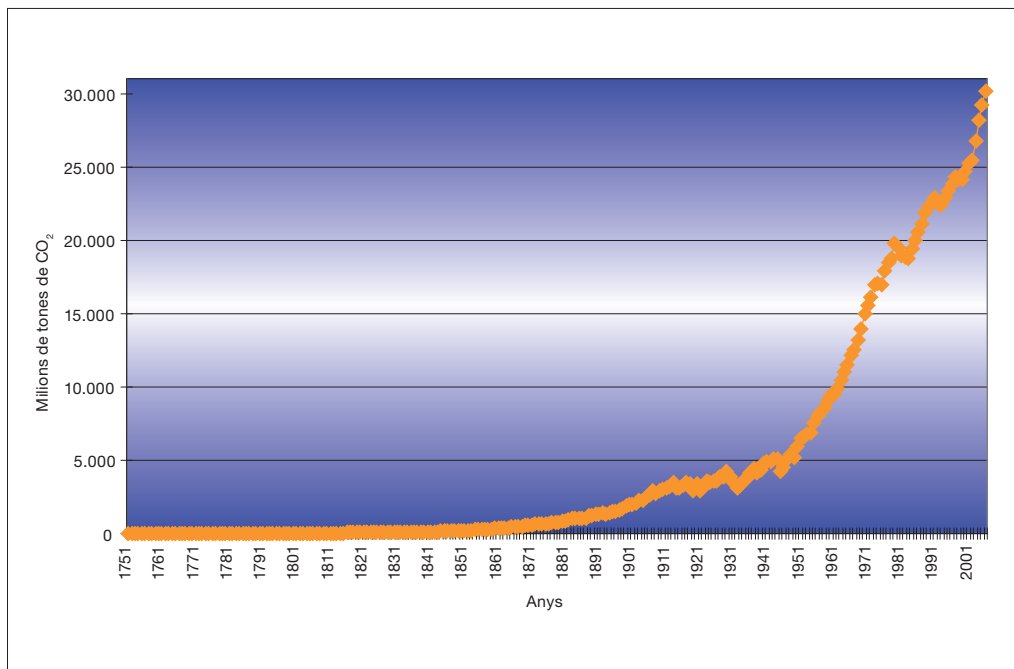


Figura 1. Evolució de les emissions de CO₂ mundials durant el període 1751-2006 a causa de combustibles fòssils, fabricació de ciment i torxes.

Font: CDIAC, 2009.

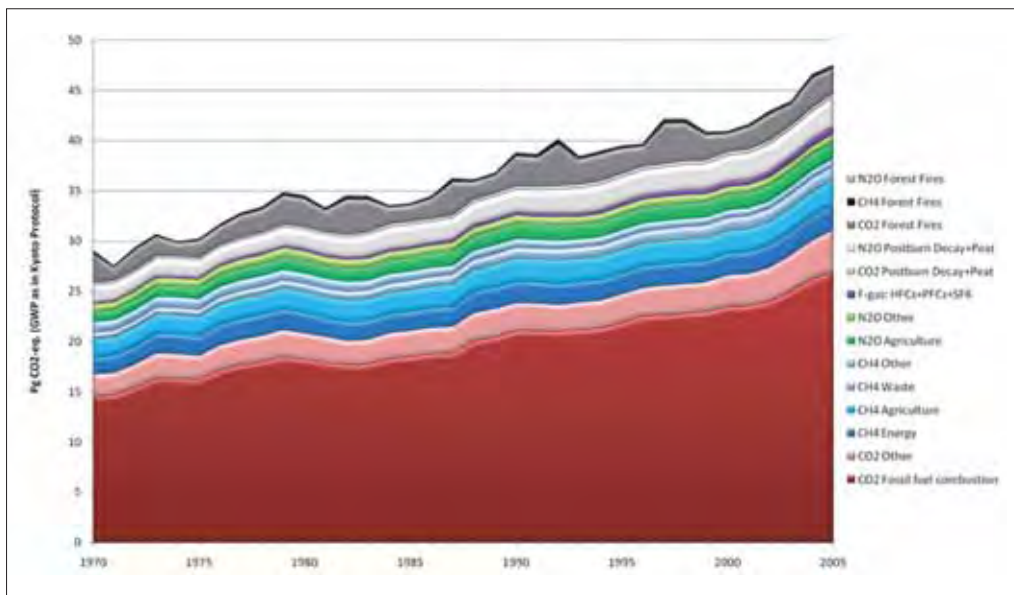


Figura 2. Evolució de les emissions de CO₂ equivalent al món durant el període 1970-2005 a causa dels sectors mostrats.

Font: JRC/PBL-EDGAR, 2009.

va establir com a límit de l'increment de les emissions el 15% en el període 2008-2012 respecte de l'any base (1990).

Els països signants del Protocol de Kyoto (amb entrada en vigor el febrer del 2005) apareixen a l'annex I de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, i segueixen la mateixa metodologia per al càlcul de les emissions de GEH. No obstant això, entre els països de l'annex I, n'hi ha que encara no han signat el Protocol, el cas més destacat dels quals és el dels Estats Units, que no va ratificar l'acord el 2001.

La metodologia per al càlcul de les emissions de GEH es troba detallada a les *Directrius de l'IPCC per als inventaris de gasos amb efecte d'hivernacle* (IPCC, 2006). Aquestes es basen en les directrius de l'IPCC prèvies (la primera versió és de l'any 1995 i la revisió de l'any 1996) i en els informes posteriors de bones pràctiques (2000). L'objectiu és proporcionar la informació necessària per planificar, dur a terme i presentar l'in-

forme de resultats d'un inventari nacional, emprant el sistema de l'IPCC.

En aquest document s'analitzen les emissions de GEH a Catalunya i es comparen amb les existents a Espanya en el període 1990-2007. En primer lloc se situen les emissions de Catalunya dins del context mundial i dels països industrialitzats i en segon lloc s'analitzen les emissions de GEH i els sectors d'emissions.

4.2. Contextualització de les emissions de GEH a Catalunya en el context internacional

Les emissions de GEH tenen un efecte global que provoca un canvi en l'actual patró climàtic. El principi que inspira la Convenció Marc de les Nacions Unides pel Canvi Climàtic és la responsabilitat compartida però diferenciada. Tant per la quantitat, com pel temps que porten emetent els països industrialitzats, hi tenen una responsabilitat més gran. Així doncs, els esforços en la reducció de les emissions han de ser proporcionals a aquesta responsabilitat i també al grau de desenvolupament.

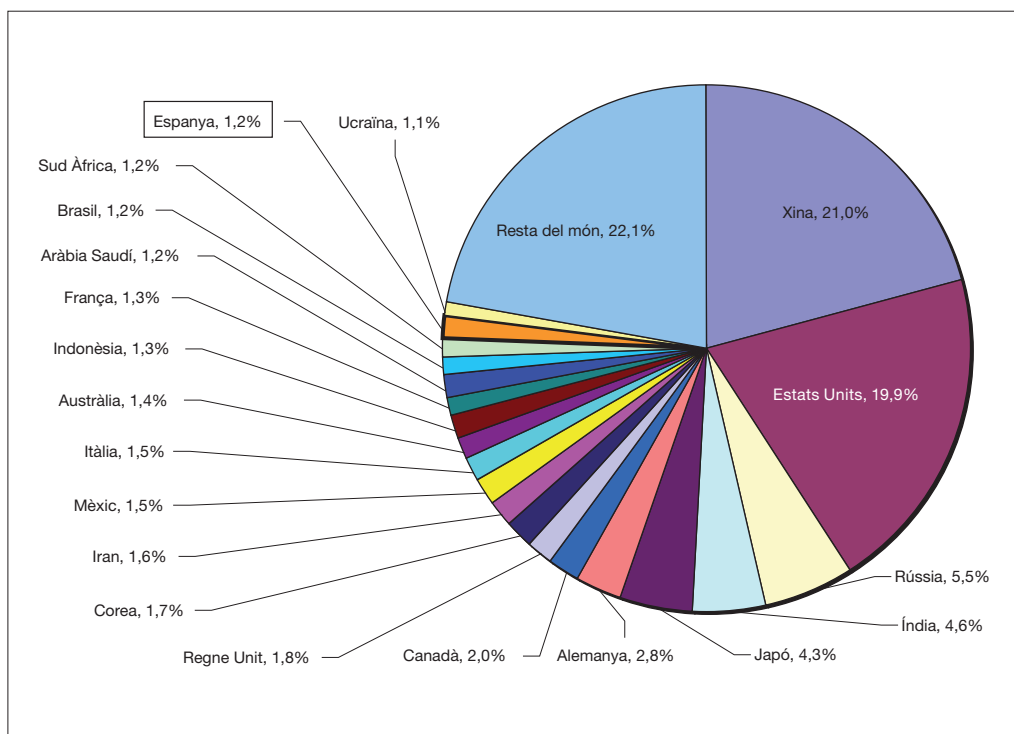


Figura 3. Percentatge d'emissions de CO₂ l'any 2007 al món per combustibles fòssils.
Font: IEA, 2009.

Catalunya té a coses a dir, a l'hora de fer front a aquesta situació, tot i que només representa l'1 per mil de la població mundial (la població mundial l'any 2005 es calculava que arribava a 6.514.751.000 habitants, dels quals a Catalunya, 6.995.000 habitants), el 0,2 per mil de la superfície terrestre (129.830.789 km² per 32.114 km² de Catalunya) i el 2,7 per mil del consum energètic mundial (UN, 2007 i Generalitat de Catalunya, 2006).

Per tal de situar les emissions de Catalunya i d'Espanya internacionalment, a continuació es mostren les dades d'emissió de CO₂ a nivell mundial. En l'apartat següent es mostren les emissions de GEH dels països inclosos a l'annex I de la Convenció Marc de les Nacions Unides pel Canvi Climàtic.

4.2.1. Emissions de CO₂ a nivell mundial

A continuació s'analitzen les emissions de CO₂ a nivell mundial del 2007 a causa de combustibles fòssils (IEA, 2009) calculades d'acord amb les *Directrius revisades de l'IPCC per als inventaris de gasos amb efecte d'hivernacle* de 1996.

Es pot observar clarament com dos països (la Xina i els Estats Units) estan per sobre de la resta pel que fa a emissions de CO₂. En primer lloc la Xina, amb 6.071 milions de tones de CO₂ l'any 2007, que representa el 21,0% del total de les emissions mundials; i en segon lloc els Estats Units, amb 5.709 milions de tones de CO₂ (19,9% mundial) (figura 3).

També cal remarcar que els 20 països amb més emissions representen el 77,9% de les emissions mundials. Entre aquest 20 països n'hi ha amb un alt grau de desenvolupament, com és el cas dels Estats Units, Austràlia i Canadà, amb unes emissions per càpita elevades: 19.098, 18.749, i 17.375 kg CO₂ per habitant l'any 2007, respectivament. D'altra banda, l'Índia és el país amb les emissions per càpita més baixes (1.179 kg de CO₂ per habitant), seguida d'Indonèsia i el Brasil amb 1.672 i 1.812 kg de CO₂ per habitant, respectivament (figura 4).

Espanya se situa al dinovè lloc, amb un total d'emissions de 345 milions de tones de CO₂, que representen l'1,2% de les emissions mundials. Les emissions per càpita de Espanya són de 7.681 kg

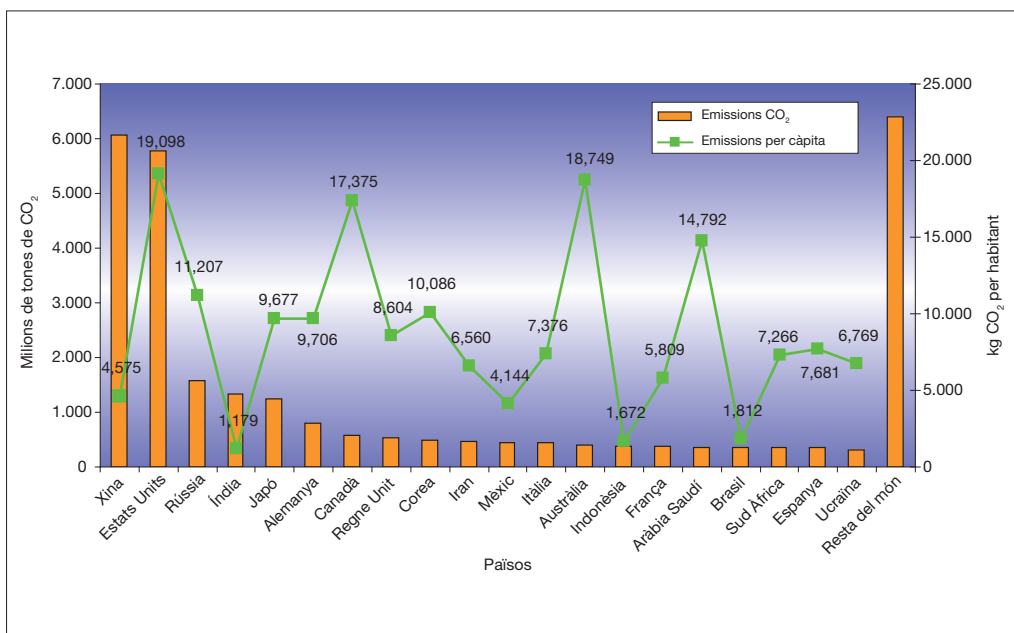


Figura 4. Emissions de CO₂ l'any 2007 a causa de la combustió de combustibles fòssils, juntament amb l'emissió per càpita anuals, dels 20 països amb més volum d'emissions.

Font: IEA, 2009.

de CO₂ per habitant, semblants a les de Itàlia (7.376), superiors a les de França (5.809) i inferiors a les d'Alemanya i el Regne Unit (9.706 i 8.604 kg de CO₂ per habitant, respectivament).

4.2.2. Emissions de GEH, contextualització en el marc dels països inclosos a l'annex I de la Convenció Marc de les Nacions Unides pel Canvi Climàtic

Per tal de contextualitzar les emissions en l'àmbit dels països industrialitzats, s'han comparat les emissions dels països de l'annex I (excloent-ne canvi d'usos de sòl) amb les dades d'emissions de GEH a Catalunya (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2009).

En la figura 5 es pot observar la variació relativa de les emissions de GEH als països de l'annex I en conjunt i també discriminant per països que formen la UE-15 i la UE-27 en el període 1990-2007. Alhora, aquestes dades es comparen amb l'evolució que ha tingut lloc a Catalunya i a Espanya en el mateix període. Les emissions de GEH es redueixen en el conjunt dels països de l'annex I en un 3,9% des de l'any base (1990)

fins al 2007, semblantment a les emissions dels països de la UE-15 (4,3%). Les emissions dels països que formen la UE-27 es redueixen un 12,2%. Aquestes reduccions en les emissions s'aconsegueixen gràcies a millors polítiques mediambientals (per exemple, en el cas d'Alemanya), però en alguns casos també per un decreixement de l'economia del país, que comporta una baixada en la producció i el consum, amb la disminució consegüent de les emissions (particularment als països de l'Europa de l'Est, com en els casos de Letònia i Ucraïna).

L'evolució de les emissions a Catalunya i Espanya mostren, en el període 1990-2007, una clara tendència a augmentar, amb un increment total de les emissions de 43,2% a Catalunya i del 52,6% a Espanya.

Si s'analitzen les emissions totals en valor absolut de GEH de l'any base (1990) i de l'any 2007 als països de l'annex I (figura 4 i taula 1), resulta que els Estats Units són el país que reporta més emissions, amb un increment del 16,8% l'any 2007 (7.107.162 milers de tones de CO₂ equivalent, en endavant; kt CO₂ eq.) respecte del valor del 1990, any base (6.084.490 kt CO₂ eq.).

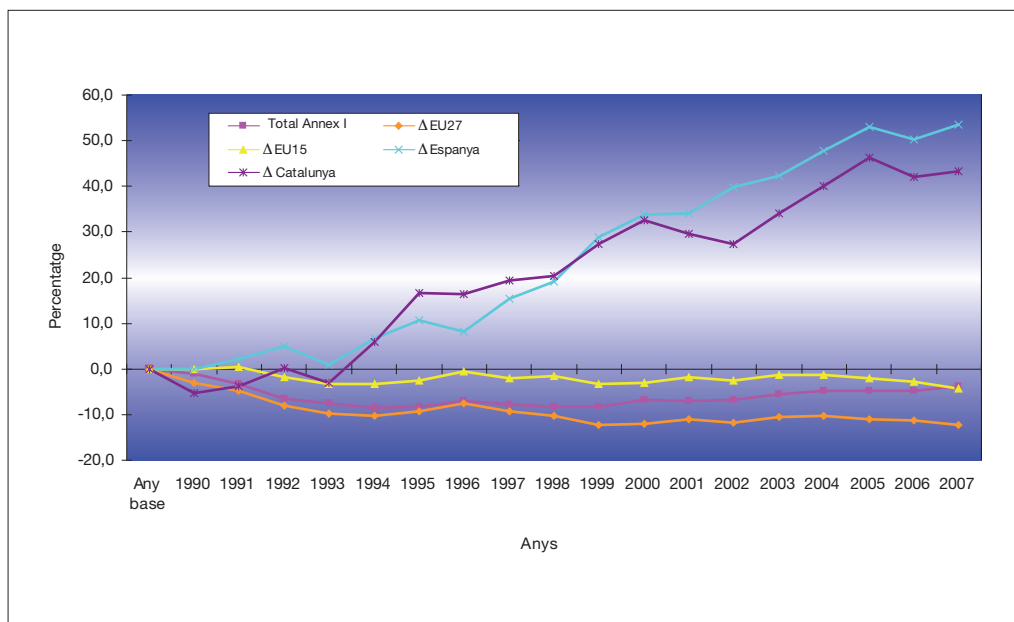


Figura 5. Evolució de les emissions de GEH a Catalunya, Espanya, UE-15, UE-25 i als països de l'annex I.
Font: UNFCCC, 2009; Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2009.

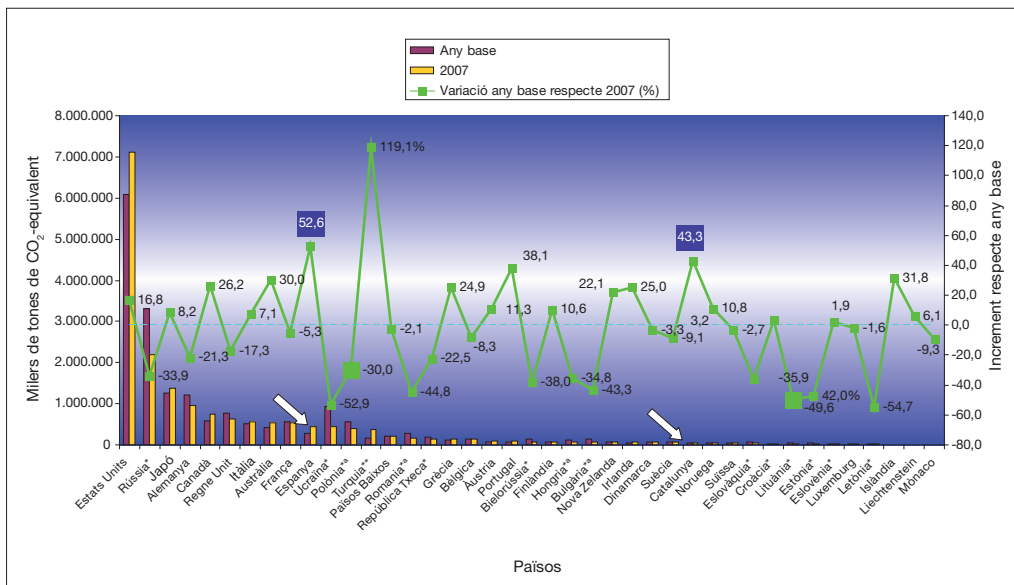


Figura 6. Emissions de CO₂ eq. de l'any base (1990) i el 2007 i l'increment que representa als països de l'annex I i a Catalunya. Font: UNFCCC, 2009; Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2009 i Secretaría de Estado de Cambio Climático, 2009.

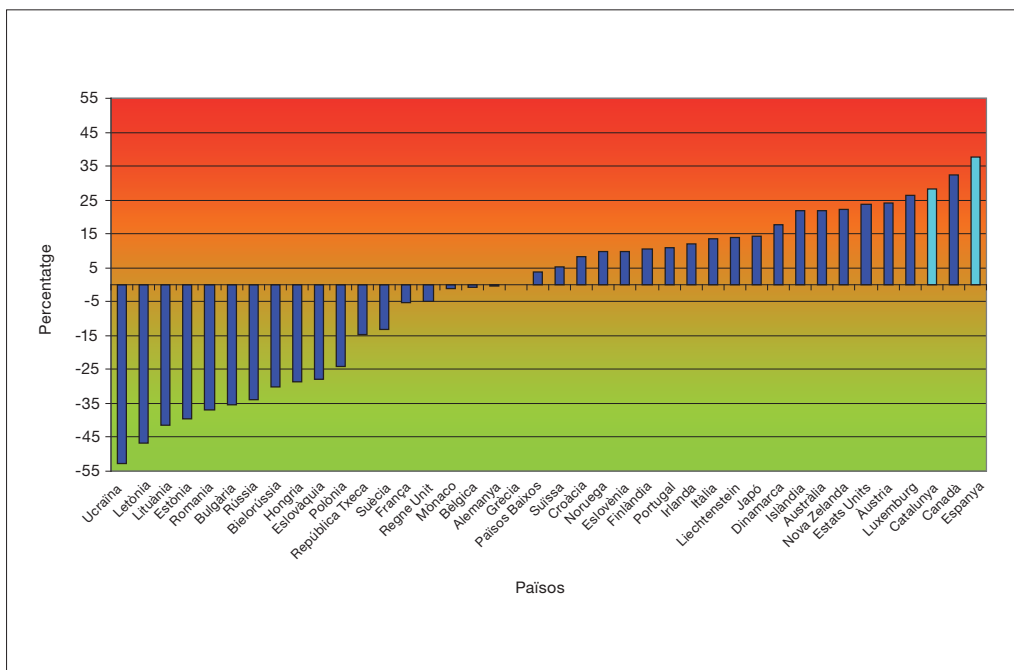


Figura 7. Variació percentual de les emissions del 2007 respecte dels valors establerts en el Protocol de Kyoto per als països de l'annex I. Mesurament del grau de compliment dels objectius plantejats.

Part	Any base	2007	Δ Any base -2007 (%)	Δ acordada a PK (%)
Estats Units	6.084.490	7.107.162	16,8	-7
Rússia	3.319.327	2.192.818	-33,9	0
Japó	1.269.657	1.374.256	8,2	-6
Alemanya	1.215.209	956.113	-21,3	-21
Canadà	591.793	747.041	26,2	-6
Regne Unit	774.164	640.273	-17,3	-12,5
Itàlia	516.318	552.771	7,1	-6,5
Austràlia	416.214	541.179	30,0	8
França	565.495	535.772	-5,3	0
Espanya	289.773	442.322	52,6	15
Ucraïna	926.033	436.005	-52,9	0
Polònia	569.510	398.881	-30,0	-6
Turquia	170.059	372.638	119,1	
Països Baixos	211.997	207.504	-2,1	-6
Romania	276.050	152.290	-44,8	-8
R. Txeca	194.712	150.823	-22,5	-8
Grècia	105.562	131.854	24,9	25
Bèlgica	143.249	131.301	-8,3	-7,5
Àustria	79.037	87.958	11,3	-13
Portugal	59.269	81.841	38,1	27
Bielorússia	129.129	80.010	-38,0	-8
Finlàndia	70.862	78.345	10,6	0
Hongria	116.453	75.944	-34,8	-6
Bulgària	133.747	75.793	-43,3	-8
Nova Zelanda	61.853	75.550	22,1	0
Irlanda	55.383	69.205	25,0	13
Dinamarca	70.414	68.092	-3,3	-21
Suècia	71.934	65.412	-9,1	4
Catalunya	40.513	58.059	43,3	15,0
Noruega	49.695	55.050	10,8	1
Suïssa	52.709	51.265	-2,7	-8
Eslovàquia	73.255	46.951	-35,9	-8
Croàcia	31.374	32.385	3,2	-5
Lituània	49.075	24.738	-49,6	-8
Estònia	41.935	22.019	-47,5	-8
Eslovènia	20.340	20.722	1,9	-8
Luxemburg	13.118	12.914	-1,6	-28
Letònia	26.679	12.083	-54,7	-8
Islàndia	3.400	4.482	31,8	10
Liechtenstein	230	243	6,1	-8
Mònaco	108	98	-9,3	-8

Taula 1. Comparació de les emissions de CO₂ eq. entre l'any base (1990), l'any 2007, l'increment objectiu 2008-2012 i els increments reals el 2007 dels països de l'annex I i de Catalunya.

El segon país amb més emissions és Rússia, però amb un descens del 33,9%, descens que ve donat no tant per una gestió encaminada a una millor política ambiental, sinó a un descens en l'economia del país. El següent país en nivells d'emissió és el Japó, amb un increment del 8,2%. En quart lloc trobem Alemanya, el país més emissor de gasos a Europa, tot i que, no obstant això, redueix les seves emissions en un 21,3%.

El país que més augmenta les seves emissions és Turquia (119,1%), i a l'altre extrem, els països que més les redueixen són Letònia (53,4%), Ucraïna (51,9%), Lituània (49,9%) i Estònia (48,3%).

Catalunya i Espanya presenten els increments més elevats d'emissions deixant de banda Turquia; en el cas d'Espanya l'increment és del 52,6% (de 289.773 a 442.322 kt CO₂ eq.) i en el cas de Catalunya és del 43,2% (de 40.513 a 58.059 kt CO₂ eq.), d'acord amb les dades de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2009) i la Secretaria de Estado del Cambio Climático (2009).

Comparant les variacions en les emissions actuals (any 2007) respecte de les de l'any base (1990) amb els compromisos acordats en el Protocol de Kyoto (figura 7 i taula 1), es pot observar que Espanya és el país que resta més lluny dels objectius subscrits: un 37,6%. Espanya es va comprometre a limitar l'increment de les emissions de GEH en el període 2008-2012 respecte dels nivells de 1990 en un màxim del 15%, mentre que l'increment actual (2007 respecte de 1990) és del 52,6%. El país que el segueix és Canadà, amb una diferència del 32,2% respecte dels objectius de Kyoto. Si s'assumeix per a Catalunya el mateix valor objectiu de limitació de les emissions que per a Espanya (increment màxim del 15% respecte de l'any base 1990), Catalunya se situa a un 28,3% dels objectius marcats.

En canvi, països com ara Ucraïna, Letònia i Lituània redueixen les seves emissions molt més del previst en el Protocol de Kyoto, a causa, principalment, d'un decreixement en la seva economia. Ara bé, països com França, el Regne Unit o Alemanya, malgrat el creixement econòmic dels darrers anys, redueixen les seves emissions més del que s'establia en el protocol.

4.3. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya i Espanya

Les dades d'emissions utilitzades provenen, en el cas de Catalunya, de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, i en el cas d'Espanya, de la Secretaria de Estado de Cambio Climático.

Per a l'harmonització a CO₂ equivalent dels GEH (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC i SF₆), les fonts esmentades tenen en compte els potencials d'escalfament global a un horitzó de 100 anys descrits en l'informe IPCC 1995 (taula 2), que es mantenen vàlids per a l'avaluació del compliment del Protocol de Kyoto. Aquests valors es mantenen a l'efecte de la ponderació dels gasos en els inventaris, tot i que des d'un punt de vista de coneixement científic aquests han estat revisats en el quart informe de l'IPCC (2007).

Per a l'anàlisi, a més de descriure les emissions de GEH en el període 1990-2007, es presenten els valors de l'any base (1990). Aquest és un any

Gas	Potencials d'escalfament (IPCC, 1995)	Gasos estimats a Espanya
Diòxid de carboni	1	X
Metà	21	X
Òxid nitrós	310	X
Hidrofluorocarburs (HFC)		
HFC-23	11.700	X
HFC-32	650	
HFC-41	150	
HFC-43-10mee	1.300	
HFC-125	2.800	X
HFC-134	1.000	
HFC-134a	1.300	X
HFC-143	300	
HFC-143a	3.800	X
HFC-152a	140	
HFC-227ea	2.900	X
HFC-236fa	6.300	X
HFC-245ca	560	
Perfluorocarburs (PFC)		
Perfluorometà	6.500	X
Perfluoroetà	9.200	X
Perfluoropropà	7.000	X
Perfluorobutà	7.000	X
Perfluorociclobutà	8.700	
Perfluoropentà	7.500	
Perfluorohexà	7.400	
Hexafluorur de sofre	23.900	X

Taula 2. Potencials d'escalfament global a 100 anys d'horitzó. Font: IPCC, 1995.

híbrid en què es tenen en compte les emissions de 1990 de CO_2 , CH_4 i N_2O , mentre que les dels gasos fluorats (HFC, PFC i SF_6) corresponen a 1995.

Analizant les dades dels inventaris de Catalunya i Espanya, s'observa que en ambdós casos

augmenten considerablement els darrers anys, tant a Catalunya (increment del 43,2%; les emissions s'estimen en 40.513 kt CO_2 eq. l'any base 1990 i 58.059 kt CO_2 eq. l'any 2007), com a Espanya (52,6%; de 289.773 a 442.322 kt CO_2 eq.) (figures 8 i 9, i taula 3) (Oficina Catalana del

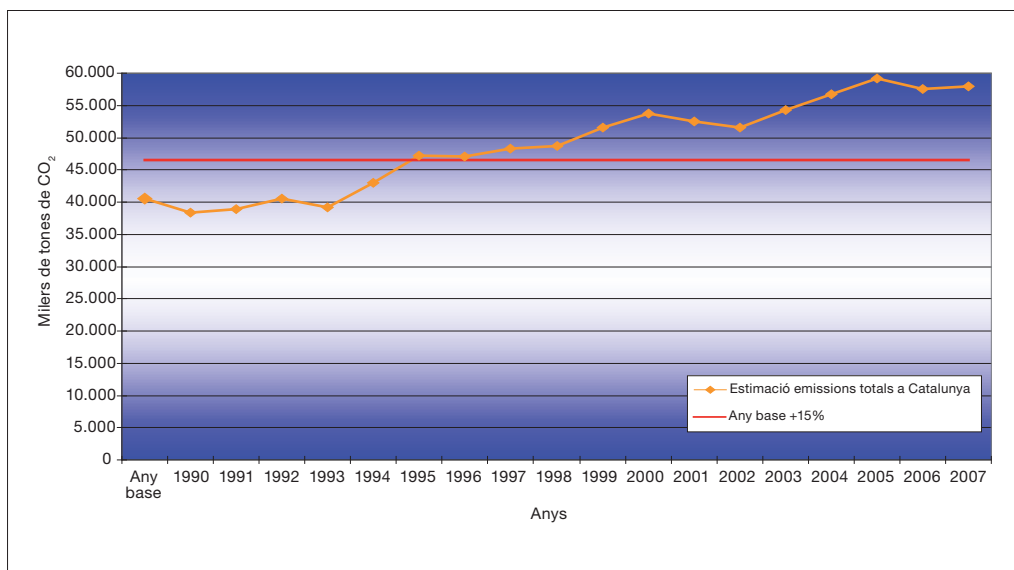


Figura 8. Evolució de les emissions de CO_2 eq. a Catalunya.

Font: Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2009.

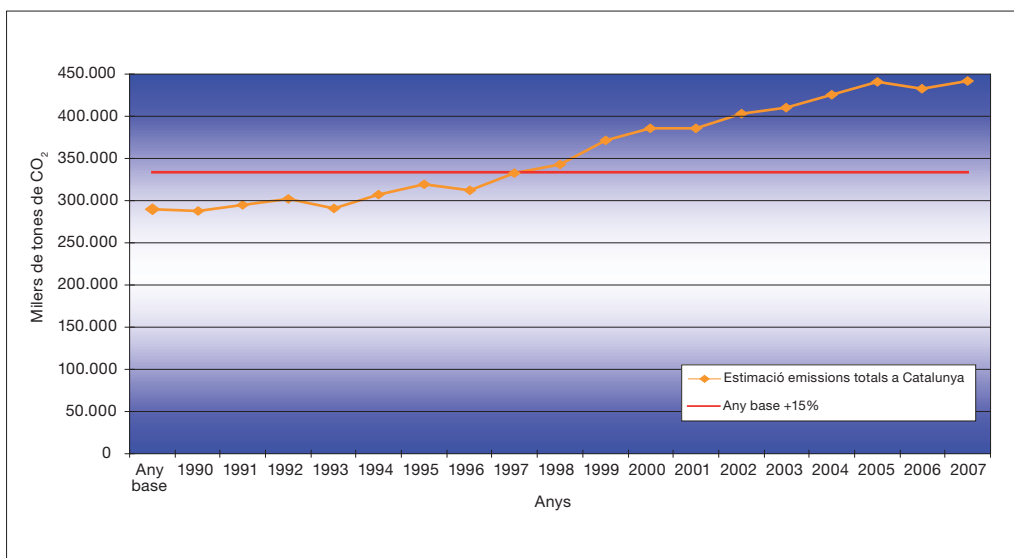


Figura 9. Evolució de les emissions de CO_2 eq. a Espanya.

Font: Secretaría de Estado de Cambio Climático, 2009.

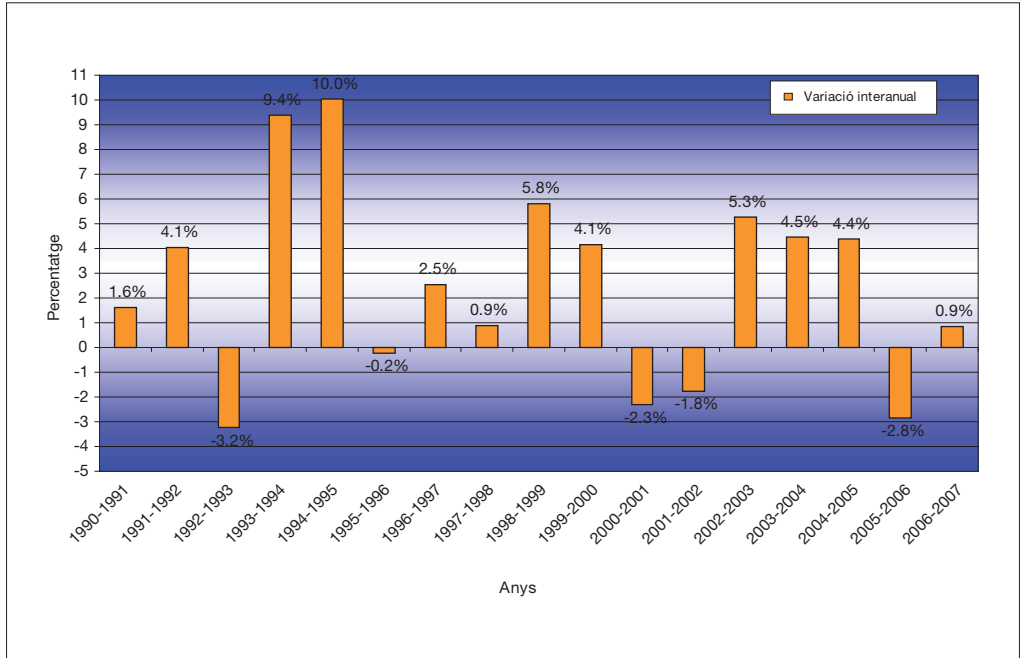


Figura 10. Variació interanual de les emissions de CO₂ eq. a Catalunya.
Font: Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2009).

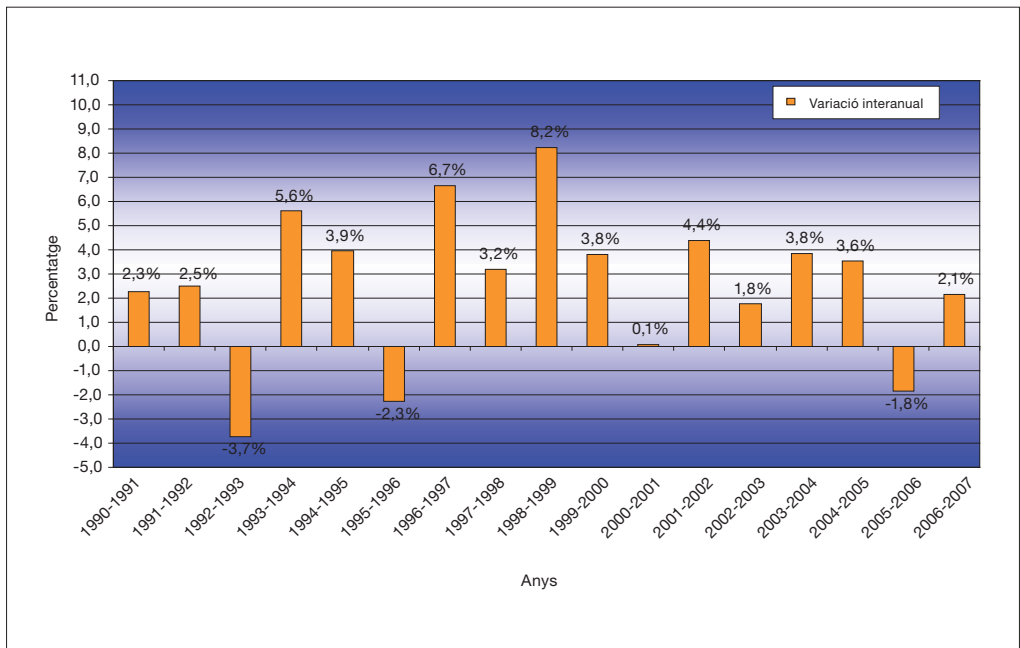


Figura 11. Variació interanual de les emissions de CO₂ eq. a Espanya.
Font: Secretaría de Estado de Cambio Climático, 2009.

Canvi Climàtic, 2009; Secretaría de Estado de Cambio Climático, 2009).

L'evolució de les emissions tant a Espanya com a Catalunya té un creixement sostingut, sense períodes de disminució de les emissions (figures 3.3 i 3.4). Tan sols en els anys 1993, 1996, 2001, 2002 i 2006 a Catalunya, i en els anys 1993, 1996, 2006 en el cas d'Espanya, s'observen disminucions en les emissions de GEH. A Catalunya, en el període comprès entre els anys 1993-1995 es calcula que les emissions van augmentar considerablement, amb increments interanuals del 9,4% i 10,0%. A Espanya no s'observen increments interanuals tan marcats, malgrat que l'increment total és més elevat a Espanya que no a Catalunya.

En ambdós casos el creixement és força similar i els períodes d'augment de les emissions a

Catalunya coincideixen igualment amb un increment de les emissions a l'Estat espanyol i a l'inrevés. Tan sols si es comparen els valors del 2000 i el 2002 a Catalunya trobem uns descensos interanuals del 2,3% i l'1,8%; en canvi, a Espanya en aquest període les emissions augmenten un 0,1% i un 4,4%.

Observant l'evolució de les emissions totals de GEH a Catalunya i a Espanya, en ambdós casos les estimacions per al 2007 superen amb escreix un increment del 15% les emissions de l'any base (1990), nivell màxim establert en el Protocol de Kyoto per assolir en el període 2008-2012. A Espanya, la xifra exacta de l'any base (1990) assignada és de 289.773.205,032 tones de CO₂ equivalent, que implica que la quantitat assignada per al compliment del Protocol de Kyoto en el

	Espanya			Catalunya			Ratio Cat/Espanya (%)
	kt CO ₂ eq.	Δ Any base (%)	Variació interanual (%)	kt CO ₂ eq.	Δ Any base (%)	Variació interanual (%)	
Any base	289.773	0,0	0,0	40.513	0,0	0,0	14,0
1990	288.135	-0,6	0,0	38.363	-5,3	0,0	13,3
1991	294.650	1,7	2,3	38.978	-3,8	1,6	13,2
1992	302.032	4,2	2,5	40.559	0,1	4,1	13,4
1993	290.740	0,3	-3,7	39.244	-3,1	-3,2	13,5
1994	307.043	6,0	5,6	42.932	6,0	9,4	14,0
1995	319.166	10,1	3,9	47.236	16,6	10,0	14,8
1996	311.946	7,7	-2,3	47.133	16,3	-0,2	15,1
1997	332.714	14,8	6,7	48.334	19,3	2,5	14,5
1998	343.290	18,5	3,2	48.767	20,4	0,9	14,2
1999	371.607	28,2	8,2	51.605	27,4	5,8	13,9
2000	385.768	33,1	3,8	53.739	32,6	4,1	13,9
2001	386.118	33,2	0,1	52.494	29,6	-2,3	13,6
2002	403.065	39,1	4,4	51.562	27,3	-1,8	12,8
2003	410.258	41,6	1,8	54.278	34,0	5,3	13,2
2004	426.018	47,0	3,8	56.701	40,0	4,5	13,3
2005	441.150	52,2	3,6	59.198	46,1	4,4	13,4
2006	433.070	49,5	-1,8	57.523	42,0	-2,8	13,3
2007	442.322	52,6	2,1	58.059	43,2	0,9	13,1

Taula 3. Emissions de CO₂ eq. a Catalunya i Espanya en el període 1990-2007.

Font: Secretaría de Estado de Cambio Climático, 2009 i Oficina Catalana de Canvi Climàtic, 2009.

període 2008-2012 és d'1.666.195.929 tones de CO₂ eq. (333.239.186 tones de CO₂ eq./any).

Les emissions a Catalunya representen aproximadament el 14% del total de les emissions espanyoles. Aquest percentatge varia en el període 1990-2007 entre el 13,1% assolit l'any 2007 i el 15,1% l'any 1996.

4.3.1. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte de la població

A fi d'analitzar l'evolució de les emissions de GEH, aquestes es comparen amb el nombre d'habitants. D'una banda, la població és destinatària d'uns béns i serveis, la producció dels quals porta associades unes emissions (principalment emissions directes; com per exemple emissions industrials o de generació d'energia). D'altra banda, les activitats de la mateixa població també comporten emissions (principalment emissions difuses; com ara transport per carretera o per l'ús de dissolvents i altres productes).

Les dades representades de població en la figura 12 provenen de les sèries temporals del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2009) i de l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT, 2009). En el període 1990-1997, les dades tant de Catalunya com d'Espanya provenen de les projeccions de població el dia 1 de juliol de cada any. Les dades del 1998-2007 són xifres oficials de l'1 de gener de cada any.

El nombre d'habitants a Espanya se situava, l'any 2007, en 45.200.737 habitants; el de Catalunya, que representava un 15,9% del total, era de 7.210.508 habitants. L'evolució mostrada en ambdós casos és similar. Tant a Espanya com a Catalunya el nombre d'habitants creix en l'interval 1990-2007, tot i que a Catalunya aquest increment és lleument més elevat. En aquest període la població de Catalunya s'incrementa un 16,9%, mentre que l'espanyola ho fa un 13,3%. L'evolució de la població d'ambdós territoris és força similar fins a l'any 2000, amb increments

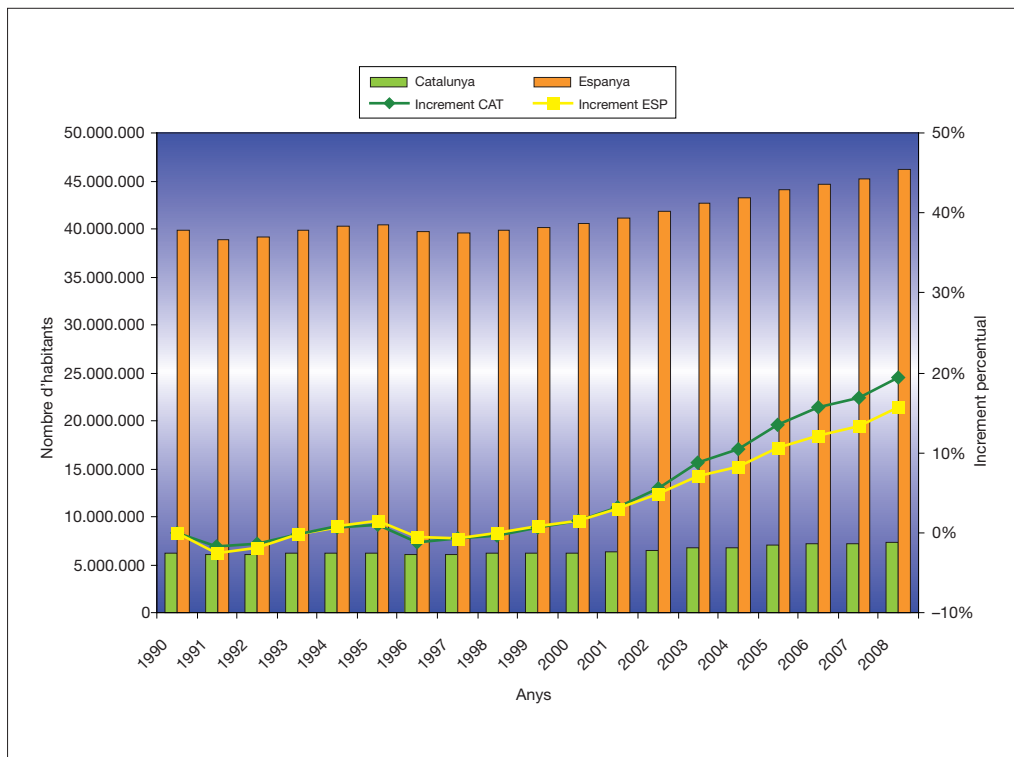


Figura 12. Evolució de les emissions de GEH per càpita a Catalunya i Espanya.
Font: INE, 2009; IDESCAT, 2009.

de l'1,5% en el cas d'Espanya i l'1,6% en el cas de Catalunya respecte de la població de 1990. No obstant això, els darrers anys, a partir de 2000 fins al 2007, l'increment de la població de Catalunya (15,1%) és superior al d'Espanya (11,6%).

Malgrat que, com ja s'ha dit, la població espanyola creix un 13,3% i la catalana un 16,9% en el període 1990-2007, les emissions per càpita experimenten un increment més gran a Espanya que no pas a Catalunya.

A Catalunya, per a l'any base (1990) s'estimen unes emissions de 6,57 t CO₂ eq. per habitant (figura 13), que s'incrementen a 8,05 t CO₂ eq./hab l'any 2007, la qual cosa representa un increment del 22,5%. L'evolució de les emissions per càpita mostra tres períodes diferenciats, un primer període (1990-1993) en el qual l'indicador es manté constant, perquè tot i que la població es manté força constant amb una certa tendència a la reducció, les emissions es mantenen igualment força semblants. El segon període (1994-2000) mostra un incre-

ment considerable, especialment pel que fa als anys 1994 i 1995, a causa d'un increment substancial de les emissions. Finalment, en el període 2000-2007 hi ha una estabilització, les emissions s'incrementen, però la població també.

Pel que fa a l'Estat espanyol, les seves emissions per càpita s'incrementen més que no a Catalunya, amb un augment del 34,7%. Les emissions de l'any base (1990) es calcula que van ser 7,26 t CO₂ eq./hab. i 9,79 t CO₂ eq./hab el 2007. L'evolució de les emissions per càpita a Espanya té un increment més constant que no pas a Catalunya, fet que, d'altra banda, és normal, ja que l'evolució pròpia de les diverses comunitats s'homogeneïtza en considerar-les totes juntes. Les emissions per càpita creixen més a Espanya que no a Catalunya a causa de dos factors. En primer lloc, les emissions creixen més (52,6% a Espanya respecte d'un 43,2% a Catalunya) i, en segon lloc, la població creix menys (13,3% a Espanya respecte d'un 16,9% a Catalunya).

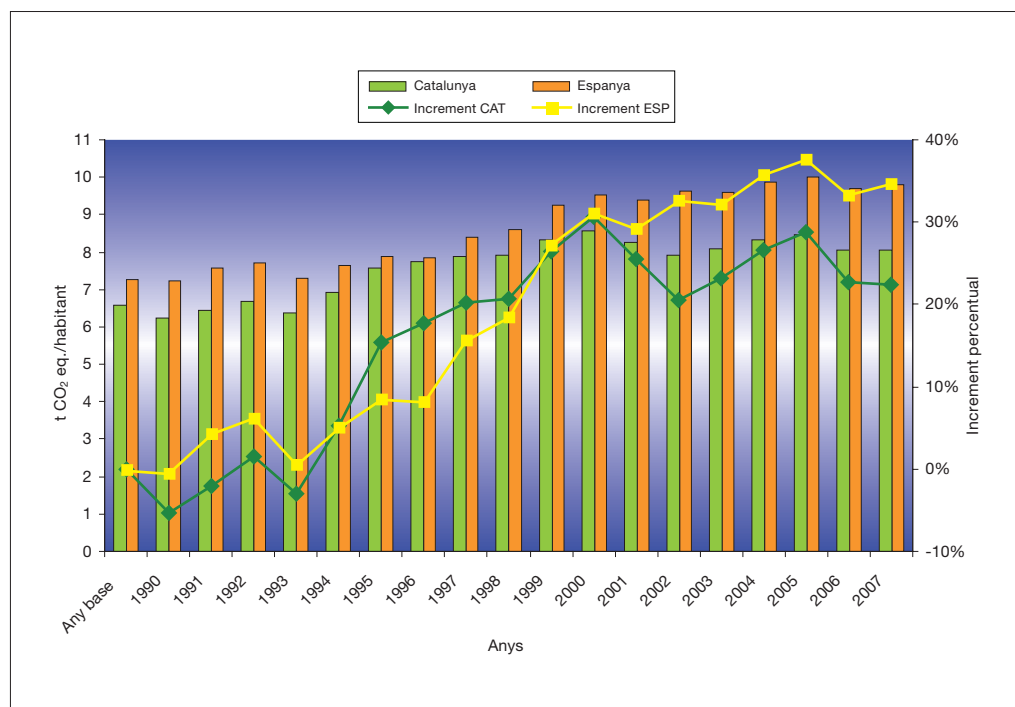


Figura 13. Evolució de les emissions de GEH per càpita a Catalunya i Espanya (en tones de CO₂ eq. per habitant).

Unitats	Catalunya				Espanya			
	Població Nre. hab.	Emissions kt CO ₂ eq.	Emissions per càpita t CO ₂ eq./hab.	Δ (%)	Població Nre. hab.	Emissions kt CO ₂ eq.	Emissions per càpita t CO ₂ eq./hab.	Δ (%)
Any base	6.165.638	40.513	6,57	0,0	39.887.140	289.773	7,26	0,0
1990	6.165.638	38.363	6,22	-5,3	39.887.140	288.135	7,22	-0,6
1991	6.059.494	38.978	6,43	-2,1	38.872.268	294.650	7,58	4,3
1992	6.083.051	40.559	6,67	1,5	39.137.979	302.032	7,72	6,2
1993	6.158.675	39.244	6,37	-3,0	39.790.955	290.740	7,31	0,6
1994	6.208.598	42.932	6,91	5,2	40.229.598	307.043	7,63	5,1
1995	6.226.869	47.236	7,59	15,4	40.460.055	319.166	7,89	8,6
1996	6.090.040	47.133	7,74	17,8	39.669.394	311.946	7,86	8,2
1997	6.120.154	48.334	7,90	20,2	39.582.413	332.714	8,41	15,7
1998	6.147.610	48.767	7,93	20,7	39.852.651	343.290	8,61	18,6
1999	6.207.533	51.605	8,31	26,5	40.202.160	371.607	9,24	27,2
2000	6.261.999	53.739	8,58	30,6	40.499.791	385.768	9,53	31,1
2001	6.361.365	52.494	8,25	25,6	41.116.842	386.118	9,39	29,3
2002	6.506.440	51.562	7,92	20,6	41.837.894	403.065	9,63	32,6
2003	6.704.146	54.278	8,10	23,2	42.717.064	410.258	9,60	32,2
2004	6.813.319	56.701	8,32	26,7	43.197.684	426.018	9,86	35,8
2005	6.995.206	59.198	8,46	28,8	44.108.530	441.150	10,00	37,7
2006	7.134.697	57.523	8,06	22,7	44.708.964	433.070	9,69	33,3
2007	7.210.508	58.059	8,05	22,5	45.200.737	442.322	9,79	34,7

Taula 4. Població i emissions per càpita a Catalunya i Espanya.

Font: INE, 2009; IDESCAT, 2009, i elaboració pròpia.

4.3.2. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte del PIB

S'ha utilitzat el PIB amb l'objecte de comparar les dades d'emissió de GEH amb l'activitat econòmica d'una regió, en aquest cas Catalunya i Espanya. El PIB calcula el valor monetari total de la producció de béns i serveis d'una regió durant un període de temps determinat. Actualment, l'índex publicat només és el que es refereix als preus corrents, ja que el PIB a preus constants ja no es calcula per raó dels canvis introduïts en la base 2000 de la comptabilitat nacional d'Espanya. S'ha decidit la utilització d'aquest índex perquè altres paràmetres, com ara la renda per càpita, no abasten tot el període d'estudi entre els anys 1990-2007.

Les dades provenen de l'Institut Nacional d'Estadística (INE, 2009). Per al període 1990-1994 les dades es troben publicades en milions de pessetes prenent com a base l'any 1986, i per al període 1995-2007 en milions d'euros prenent com a base l'any 2000. Per facilitar l'anàlisi s'ha convertit tot a milions d'euros.

El PIB a preus corrents (figura 14) ha augmentat molt a Catalunya i Espanya els darrers anys. A Catalunya el PIB del 1990 s'estima en 57.174 milions d'euros, que augmenta fins als 204.128 milions d'euros l'any 2007, és a dir, un increment d'un 257,0%. En el cas d'Espanya, s'observa un increment similar en el mateix període, un 263,4%, des dels 301.379 milions d'euros l'any 1990 a la xifra d'1.095.163 milions d'euros el

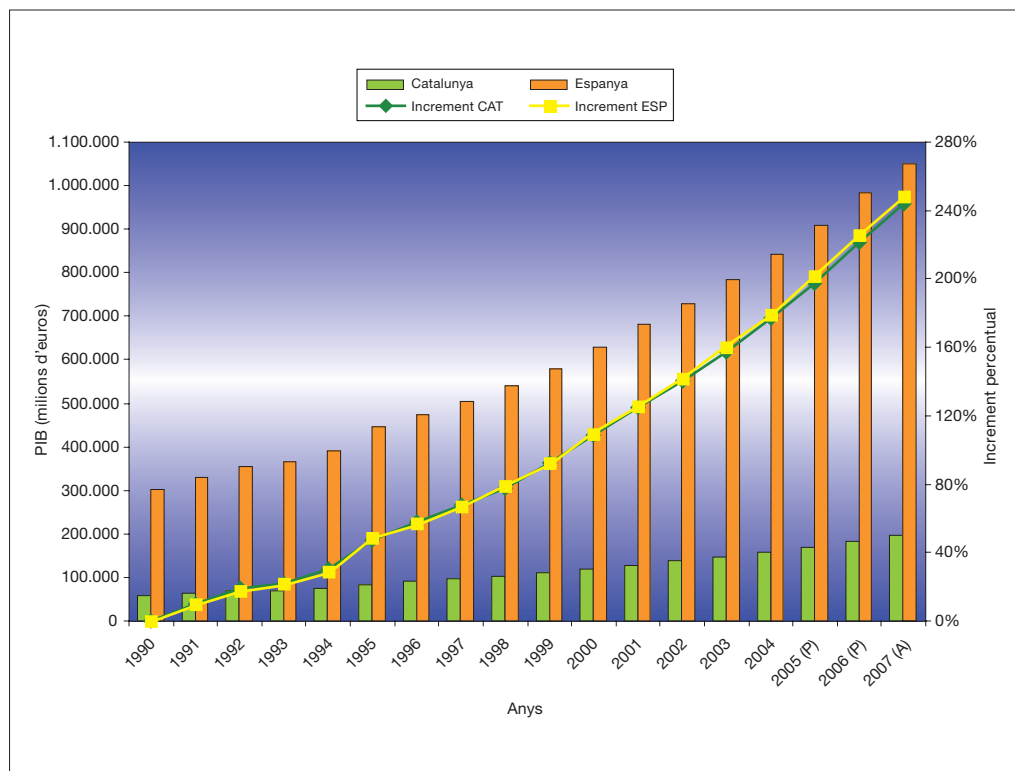


Figura 14. Evolució del PIB a preus corrents a Catalunya i Espanya en el període 1990-2007. Les dades de 2005 i 2006 són provisionals, i les de 2007 són un avanç.

Font: INE, 2009.

2007. L'evolució interanual se situa tant a Catalunya com a Espanya en valors que varien entre el 6-10%; tan sols l'any 1993, l'increment interanual es va situar proper al 3% (2,7% a Catalunya i 3,1% a Espanya) arran de la crisi de principi dels anys noranta. Cal comentar que s'observa una variació en l'evolució de les dades per al període 1990-1994 respecte del 1995-2007, provocada pel canvi d'any base d'ambdós períodes.

Comparant les dades d'emissió de GEH amb les de PIB (ràtio tones de CO₂ equivalent per milió d'euros) a Catalunya i Espanya (figura 15), s'observa com aquest índex disminueix en el període d'estudi. En el cas de Catalunya s'estima en 709 t CO₂ eq/milió € l'any base (1990) i en 295 l'any 2007, és a dir, un reducció d'un 58,3%. A Espanya aquesta reducció és lleument inferior: 56,2% (de 961 t CO₂ eq/milió € a 421). Aquestes dades signifiquen que, tot i que les emissions

de GEH de Catalunya i Espanya creixen molt en el període que estem analitzant (1990-2007), el PIB —que calcula el valor de la producció i dels serveis— ho ha fet molt més.

La relació entre ambdues magnituds, emissions de GEH i PIB, no és tan directa com en el cas de la població, ja que en el cas del PIB entren en joc altres factors que distorsionen la interpretació de les dades. Per exemple, l'IPC, el qual a Espanya augmenta un 92,2% entre gener de 1990 i desembre de 2007 (INE, 2009).

4.4. Inventari d'emissions a Catalunya, discriminat per sectors i contaminants

A continuació es presenta l'anàlisi de l'evolució de les emissions de GEH a Catalunya, tenint en compte l'aportació de cada sector d'emissions i l'efecte de cada GEH. Per a l'anàlisi s'ha pres com a referència l'*Inventari d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle 7 Sectors IPCC de Catalunya*

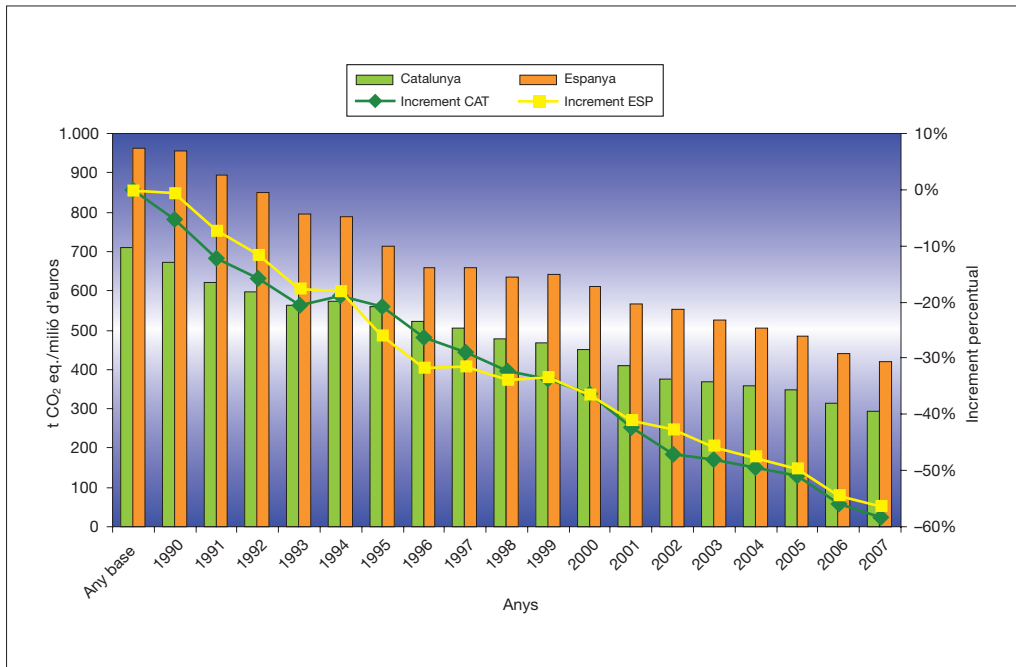


Figura 15. Evolució de les emissions de GEH respecte del PIB a preus corrents a Catalunya i Espanya en el període 1990-2007. Font: Elaboració pròpia.

(1990-2007) (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2009).

Els set sectors IPCC són:

1. Processament d'energia
2. Processos industrials
3. Ús de dissolvents i altres productes
4. Agricultura
5. Canvi d'usos de sòl i silvicultura
6. Tractament i deposició de residus
7. Altres

D'aquests set sectors hi ha dos que no reporten emissions a Catalunya en el període 1990-2007: el de *Canvi d'usos de sòl i silvicultura* i *Altres*. A l'efecte de l'anàlisi, a causa del seu volum d'emissions, en aquest apartat es desglossa el sector Processament d'energia en els seus subsectors: *Activitats de combustió* i *Emissions fugitives dels combustibles*, i alhora en el subsector *Activitats de combustió* també s'analitzen per separat els seus subsectors. Així doncs, els sectors queden de la manera següent:

1. Processament d'energia
 - 1.A. *Activitats de combustió*
 - 1.A.1 Indústries del sector energètic

1.A.2 Indústries de manufactura i de la construcció

1.A.3 Transport

1.A.4 Altres sectors

1.B *Emissions fugitives dels combustibles*

2. Processos industrials

3. Ús de dissolvents i altres productes

4. Agricultura

6. Tractament i deposició de residus

Igualment, s'analitzen les emissions dels sis principals gasos contribuents a l'efecte hivernacle (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC i SF_6) expressades en CO_2 equivalent.

4.4.1. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per sectors a Catalunya

S'analitzen les emissions a Catalunya per sectors. En la figura 16 i en la taula 7 es mostra l'evolució de les emissions en CO_2 equivalent total pel període 1990-2007: emissions totals en valor absolut, percentatge que representa cada sector respecte del total i increment de cada sector respecte de l'any base (1990).

Unitats	Catalunya				Espanya			
	PIB	Emissions	Emissions per PIB		PIB	Emissions	Emissions per PIB	
	MEUR	kt CO ₂ eq.	t CO ₂ eq./MEUR	Evolució de les emissions per PIB (%)	MEUR	kt CO ₂ eq.	t CO ₂ eq./MEUR	Evolució de les emissions per PIB (%)
Any base	57,174	40,513	709	0,0	301,379	289,773	961	0,0
1990	57,174	38,363	671	-5,3	301,379	288,135	956	-0,6
1991	62,747	38,978	621	-12,3	330,120	294,650	893	-7,2
1992	67,888	40,559	597	-15,7	355,228	302,032	850	-11,6
1993	69,719	39,244	563	-20,6	366,332	290,740	794	-17,5
1994	74,691	42,932	575	-18,9	389,391	307,043	789	-18,0
1995	84,246	47,236	561	-20,9	447,205	319,166	714	-25,8
1996	90,398	47,133	521	-26,4	473,855	311,946	658	-31,5
1997	95,893	48,334	504	-28,9	503,921	332,714	660	-31,3
1998	101,701	48,767	480	-32,3	539,493	343,290	636	-33,8
1999	109,999	51,605	469	-33,8	579,942	371,607	641	-33,4
2000	119,124	53,739	451	-36,3	630,263	385,768	612	-36,3
2001	128,643	52,494	408	-42,4	680,678	386,118	567	-41,0
2002	137,308	51,562	376	-47,0	729,206	403,065	553	-42,5
2003	147,282	54,278	369	-48,0	782,929	410,258	524	-45,5
2004	158,191	56,701	358	-49,4	841,042	426,018	507	-47,3
2005	169,995	59,198	348	-50,9	908,792	441,150	485	-49,5
2006	183,906	57,523	313	-55,9	982,303	433,070	441	-54,1
2007	196,537	58,059	295	-58,3	1.050,595	442,322	421	-56,2

Taula 5. Evolució del producte interior brut a preus corrents en el període 1990-2007 a Catalunya i Espanya, i comparació amb l'evolució de les emissions.

Font: PIB: INE, 2009.

El sector *Processament d'energia* és el que té un volum d'emissions més elevat. Aquestes, per a l'any base (1990), s'estimen en 26.301 kt CO₂ eq. que representa el 65% del total de les emissions a Catalunya, les quals augmenten un 62,8% el 2007 respecte de l'any base (1990); emissions de 42.813 kt CO₂ eq. el 2007, que representen el 73,7% del total el 2007.

Les elevades emissions del sector *Processament d'energia* són principalment del subsector *Activitats de combustió*, ja que l'altre subsector, *Emissions fugitives dels combustibles* representa tan sols un 1% del total d'emissions de l'any base (1990) (360 kt CO₂ eq.). El subsector *Activitats de combustió* integra alhora les activitats de: *Indústries*

sector energètic, Indústries de manufactura i construcció, Transport i Altres sectors. Cadascuna d'aquestes representen entre 10 i el 28% de les emissions totals de GEH l'any 2007. Aquests percentatges de les activitats de combustió per separat són superiors als percentatges de cadascun de la resta de sectors (*Processos industrials, Ús de dissolvents i altres productes, Agricultura i Tractament i deposició de residus*).

L'activitat de combustió amb més emissions és la de *Transport* amb unes emissions de 10.380 kt CO₂ eq. l'any base (1990), que representa el 25,6% del total. Les seves emissions s'incrementen un 57,2% en el període 1990-2007 (16.315 kt CO₂ eq., que representa un 28,1% de les emis-

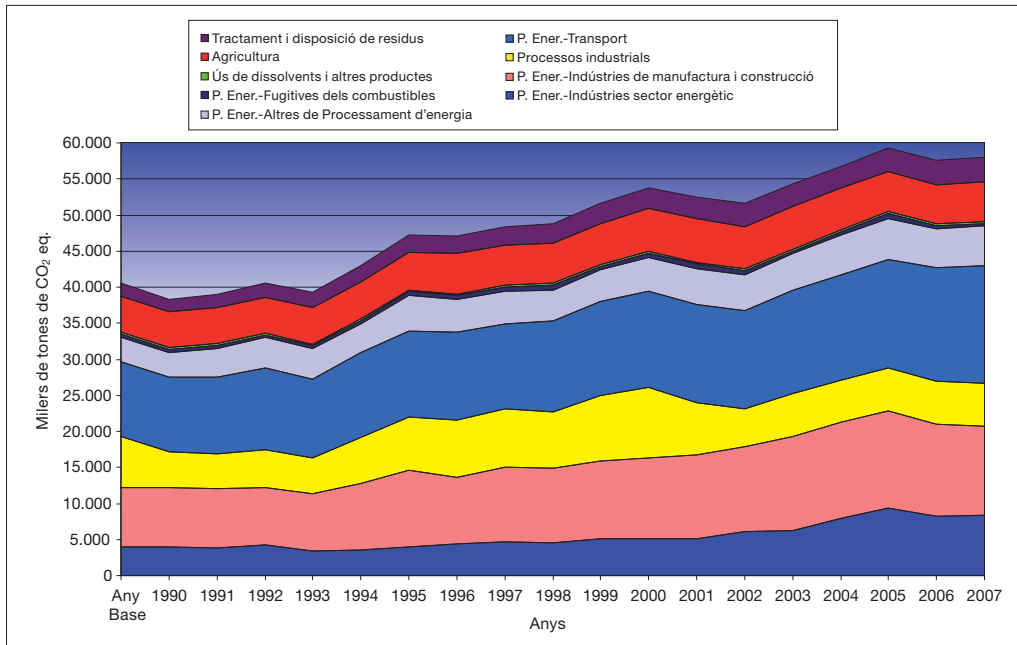


Figura 16. Emissions de CO₂ equivalent a Catalunya en el període 1990-2007, per sectors.

sions totals el 2007). Les activitats següents en volum d'emissions de GEH són: *Indústries de manufactura i construcció* i *Indústries del sector energètic*, les seves emissions per l'any base (1990) s'estimen en 8.162 i 3.979 kt CO₂ eq., respectivament, que augmenten a 12.320 i 8.356 kt CO₂ eq. l'any 2007 (representant el 21,2 i 14,4% del total de les emissions, també respectivament). Finalment, l'activitat *Altres sectors de processament d'energia* que representa el 8,4% de les emissions totals en l'any base (3.420 kt CO₂ eq.), augmenten a 5.558 kt CO₂ eq. el 2007 (9,6% del total).

Després del sector *Processament d'energia*, els sectors següents en volum d'emissions de GEH són: *Processos industrials* i *Agricultura*. En el cas de les emissions del sector *Processos industrials*, s'estimen en 7.169 kt CO₂ eq. (17,7%) en l'any base (1990), que passen a representar un 10,3% del total l'any 2007 (5.953 kt CO₂ eq.). Aquest és l'únic sector en què les emissions disminueixen en el període 1990-2007, reducció de -17,0%. En el cas de les emissions del sector *Agricultura*, amb unes emissions estimades en 5.061 kt CO₂ eq. (12,5% del total) en l'any base (1990), augmenten lleument (increment del 10,3%), fins a 5.584 kt CO₂ eq. l'any 2007 (9,6% del total).

El sector següent pel que fa a la quantitat d'emissions de GEH és el de *Tractament i disposició de residus*, les emissions del qual s'estimen en 1.737 kt CO₂ eq. en l'any base (1990), que s'incrementen un 96,5% l'any 2007 (3.413 kt CO₂ eq., representant el 5,9% del total d'emissions).

Finalment, el sector que reporta les emissions més baixes és el d'*Ús de dissolvents i altres productes* (1% del total), ja que s'estimen en 245 kt CO₂ eq. en l'any base (1990) i 296 kt CO₂ eq. l'any 2007.

4.4.2. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya

A continuació s'examinen les emissions de GEH a Catalunya respecte del total de l'inventari (figura 17) tenint-ne en compte el valor absolut, el percentatge respecte del total de les emissions i l'evolució temporal en el període que va de l'any base (1990) al 2007.

El CO₂ ocupa una posició clarament dominant pel que fa a les emissions de GEH. El pes relatiu de les seves emissions respecte del total és del 71,8% (29.098 kt CO₂ eq.) en l'any base (1990), que augmenta lleument durant el període 1990-2007, fins a representar el 80,2%

Milers de tones de CO ₂ eq. per sector	Any Base	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1. Processament d'energia	26.301	26.301	27.040	28.105	26.945	28.968	31.941	30.956	31.985	32.440	33.643	34.947	35.981	37.118	39.025	41.842	44.206	42.558	42.813
1.A.1. P. Ener-Indústries sector energètic	3.979	3.979	3.793	4.295	3.472	3.541	3.998	4.366	4.734	4.499	5.117	5.130	5.117	6.126	6.177	7.883	9.379	8.201	8.356
1.A.2. P. Ener-Indústries de manufactura i construcció	8.162	8.162	8.201	7.851	7.942	9.228	10.577	9.298	10.317	10.358	10.715	11.201	11.658	11.783	1.3071	13.392	13.423	12.853	12.320
1.A.3. P. Ener- Transport	10.380	10.380	10.626	11.343	10.841	11.795	11.903	12.224	11.745	12.631	13.008	13.347	13.641	13.607	1.4285	14.634	15.047	15.763	16.315
1.A.4. P. Ener-Altres sectors de processament d'energia	3.420	3.420	4.055	4.251	4.328	3.943	4.966	4.586	4.527	4.247	4.359	4.747	4.986	4.954	5.112	5.444	5.721	5.398	5.558
1.B. P. Ener-Fugitives dels combustibles	360	360	364	365	362	461	496	482	663	705	444	522	579	649	380	489	635	343	264
2. Processos industrials	7.169	5.019	4.863	5.280	4.956	6.382	7.472	7.860	8.078	7.874	9.179	9.706	7.220	5.192	6.002	5.828	5.991	5.914	5.953
3. Ús de dissolvents i altres productes	245	245	245	239	219	224	226	242	258	274	280	285	274	284	279	271	265	270	296
4. Agricultura	5.061	5.061	4.977	4.952	5.015	5.131	5.254	5.606	5.447	5.554	5.725	5.956	6.004	5.821	5.887	5.760	5.591	5.509	5.584
6. Tractament i disposició de residus	1.737	1.737	1.853	1.983	2.110	2.227	2.344	2.469	2.567	2.625	2.778	2.846	3.016	3.148	3.085	3.001	3.171	3.294	3.413
Total	40.513	38.363	38.978	40.559	39.244	42.932	47.236	47.133	48.334	48.767	51.605	53.739	52.494	51.562	54.278	56.701	59.224	57.545	58.059
Percentatge respecte del total																			
1. Processament d'energia	64,9	68,6	69,4	69,3	68,7	67,5	67,6	65,7	66,2	66,5	65,2	65,0	68,5	72,0	71,9	73,8	74,6	74,0	73,7
1.A.1. P. Ener-Indústries sector energètic	9,8	10,4	9,7	10,6	8,8	8,2	8,5	9,3	9,8	9,2	9,9	9,5	9,7	11,9	11,4	13,9	15,8	14,3	14,4
1.A.2. P. Ener-Indústries de manufactura i construcció	20,1	21,3	21,0	19,4	20,2	21,5	22,4	19,7	21,3	21,2	20,8	20,8	22,2	22,9	24,1	23,6	22,7	22,3	21,2
1.A.3. P. Ener- Transport	25,6	27,1	27,3	28,0	27,6	27,5	25,2	25,9	24,3	25,9	25,2	24,8	26,0	26,4	26,3	25,8	25,4	27,4	28,1
1.A.4. P. Ener-Altres sectors de processament d'energia	8,4	8,9	10,4	10,5	11,0	9,2	10,5	9,7	9,4	8,7	8,4	8,8	9,5	9,6	9,4	9,6	9,7	9,4	9,6

Millers de tones de CO ₂ eq. per sector	Any Base	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1.B. P. Ener.-Fugitives dels combustibles	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	1,0	1,4	1,4	0,9	1,0	1,1	1,3	0,7	0,9	1,1	0,6	0,5
2. Processos industrials	17,7	13,1	12,5	13,0	12,6	14,9	15,8	16,7	16,7	16,1	17,8	18,1	13,8	10,1	11,1	10,3	10,1	10,3	10,3
3. Us de dissolvents i altres productes	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
4. Agricultura	12,5	13,2	12,8	12,2	12,8	12,0	11,1	11,9	11,3	11,4	11,1	11,1	11,4	11,3	10,8	10,2	9,4	9,6	9,6
6. Tractament i disposició de residus	4,3	4,5	4,8	4,9	5,4	5,2	5,0	5,2	5,3	5,4	5,4	5,3	5,7	6,1	5,7	5,3	5,4	5,7	5,9
Evolució respecte de l'any base per sector, en percentatges																			
1. Processament d'energia	0,0	0,0	2,8	6,9	2,4	10,1	21,4	17,7	21,6	23,3	27,9	32,9	36,8	41,1	48,4	59,1	68,1	61,8	62,8
1.A.1. P. Ener.-Indústries sector energètic	0,0	0,0	-4,7	7,9	-12,8	-11,0	0,5	9,7	19,0	13,1	28,6	28,9	28,6	53,9	55,2	98,1	135,7	106,1	110,0
1.A.2. P. Ener.-Indústries de manufactura i construcció	0,0	0,0	0,5	-3,8	-2,7	13,1	29,6	13,9	26,4	26,9	31,3	37,2	42,8	44,4	60,2	64,1	64,5	57,5	51,0
1.A.3. P. Ener.-Transport	0,0	0,0	2,4	9,3	4,4	13,6	14,7	17,8	13,2	21,7	25,3	28,6	31,4	31,1	37,6	41,0	45,0	51,9	57,2
1.A.4. P. Ener.-Altres sectors de processament d'energia	0,0	0,0	18,6	24,3	26,6	15,3	45,2	34,1	32,4	24,2	27,4	38,8	45,8	44,9	49,5	59,2	67,3	57,8	62,5
1.B. P. Ener.-Fugitives dels combustibles	0,0	0,0	1,2	1,5	0,6	28,0	37,9	33,9	84,2	95,8	23,2	45,1	60,9	80,3	5,5	35,8	76,5	-4,8	-26,8
2. Processos industrials	0,0	-30,0	-32,2	-26,4	-30,9	-11,0	4,2	9,6	12,7	9,8	28,0	35,4	0,7	-27,6	-16,3	-18,7	-16,4	-17,5	-17,0
3. Us de dissolvents i altres productes	0,0	0,0	0,0	-2,7	-10,8	-8,7	-7,8	-1,4	5,1	11,9	14,3	16,4	11,9	15,8	13,8	10,4	8,0	10,3	20,7
4. Agricultura	0,0	0,0	-1,6	-2,2	-0,9	1,4	3,8	10,8	7,6	9,8	13,1	17,7	18,6	15,0	16,3	13,8	10,5	8,9	10,3
6. Tractament i disposició de residus	0,0	0,0	6,6	14,2	21,5	28,2	34,9	42,1	47,7	51,1	59,9	63,8	73,6	81,2	77,6	72,7	82,5	89,6	96,5

Taula 6. Emissions de CO₂ equivalent a Catalunya per sectors d'emissions en el període 1990-2007; valors absoluts i percentatge del total i evolució respecte de l'any base (1990).

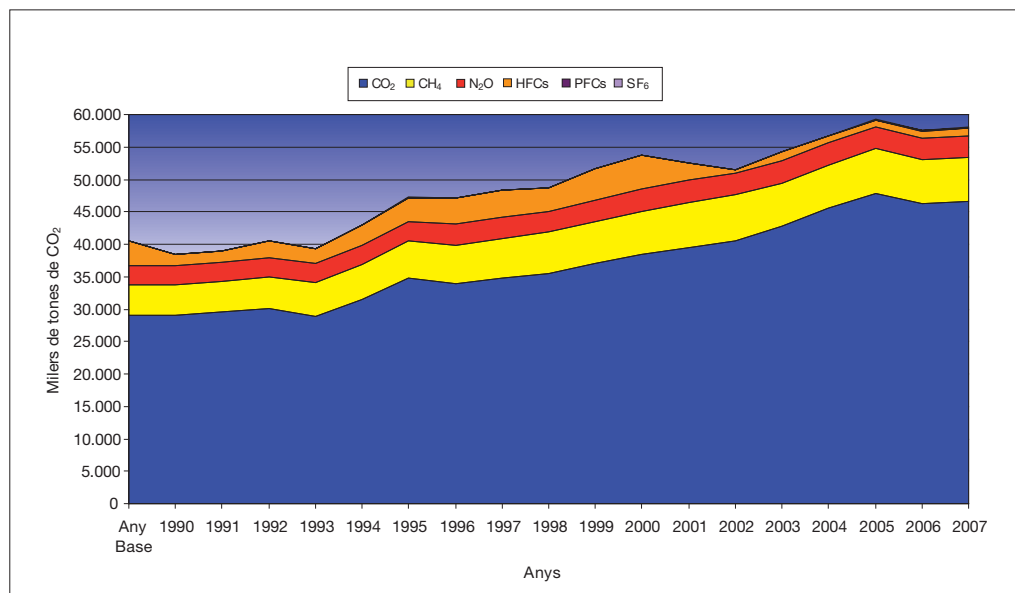


Figura 17. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per contaminant, en tones de CO₂ equivalent a Catalunya.

(46.565 kt CO₂ eq.) l'any 2007. L'increment experimentat en aquest període és del 60,0%. Aproximadament el 90% de les seves emissions són pel *Processament d'energia*; consum de combustibles fòssils en sector energètic, transport, indústries i altres. La resta són a causa de *Processos industrials*, especialment els processos amb productes minerals.

El segon contaminant que cal considerar pel que fa a emissions amb efecte d'hivernacle és el metà (CH₄). Les seves emissions en kt CO₂ eq. són 4.702 (11,6% de total) en l'any base (1990), que augmenta un 44,3%, fins a assolir les 6.787 kt CO₂ eq. l'any 2007, representant el 11,7% del total.

El N₂O és el tercer GEH. L'increment que experimenten aquestes emissions és un 13,8% des de l'any base (1990) al 2007. Aquestes, l'any base (1990), s'estimen en 2.970 kt CO₂ eq. (7,3% del total), que augmenten a 3.379 kt CO₂ eq. (5,8%) l'any 2007.

Els gasos fluorats en conjunt (SF₆, HFC i PFC) representen entre un 1% i un 9% del total dels GEH. Els que més hi contribueixen són els HFC (hidrofluorocarburs), amb un 2,1% del total de les emissions l'any 2007 (1.245 kt CO₂ eq.), fet que representa un descens del 66,5% respecte de

l'any base (1990). En el cas de l'SF₆ i PFC, els seus increments respecte de l'any base (1990) són molt elevats: 202,4 i 36.598,7%, respectivament.

4.4.3. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i sectors emissors

En els apartats anteriors s'ha analitzat l'efecte dels GEH i sectors d'emissions d'aquests. A continuació, en la taula 8 es mostren els valors detallats per GEH i sector per als anys 1990, 2000, 2005 i 2007.

Les emissions de CO₂, gas que més influència té en l'efecte hivernacle, prové principalment del sector *Processament d'energia*, aproximadament el 90% de les emissions de CO₂ provenen d'aquest sector. Això és perquè les emissions de l'activitat de combustió provenen dels sectors de *Transport* (30-35% del total), *Indústries de manufactura i construcció* (25-30%), *Indústries del sector energètic* (10-20%) i *Altres sectors de processament d'energia* (10-12%). La resta d'emissions de CO₂ fora del sector *Processament d'energia* es concentren bàsicament en el sector *Processos industrials*, amb unes emissions que representen aproximadament el 10% del total.

Les emissions de CH₄ es localitzen, gairebé del tot, en dos sectors: *Agricultura i Tractament i*

	Any Base	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
CO ₂	29.098	29.098	29.517	30.035	28.931	31.509	34.741	33.927	34.771	35.526
CH ₄	4.702	4.702	4.774	4.939	5.185	5.365	5.711	5.940	6.125	6.334
N ₂ O	2.970	2.970	2.952	2.914	2.855	3.011	3.042	3.244	3.221	3.197
HFC	3.722	1.579	1.720	2.656	2.258	3.030	3.722	3.999	4.191	3.680
PFC	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
SF ₆	21	13	14	15	16	18	21	22	25	27
Total	40.513	38.363	38.978	40.559	39.244	42.932	47.236	47.133	48.334	48.767
Percentatge respecte del total										
CO ₂	71,8	75,8	75,7	74,1	73,7	73,4	73,5	72,0	71,9	72,8
CH ₄	11,6	12,3	12,2	12,2	13,2	12,5	12,1	12,6	12,7	13,0
N ₂ O	7,3	7,7	7,6	7,2	7,3	7,0	6,4	6,9	6,7	6,6
HFC	9,2	4,1	4,4	6,5	5,8	7,1	7,9	8,5	8,7	7,5
PFC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SF ₆	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
CO ₂	37.078	38.397	39.495	40.607	42.700	45.485	47.837	46.330	46.565
CH ₄	6.342	6.660	6.887	7.025	6.749	6.712	6.955	6.725	6.787
N ₂ O	3.300	3.385	3.447	3.369	3.417	3.372	3.274	3.279	3.379
HFC	4.848	5.254	2.621	512	1.362	1.070	1.091	1.132	1.245
PFC	5	6	8	10	12	14	16	18	20
SF ₆	33	36	35	40	39	47	51	60	63
Total	51.605	53.739	52.494	51.562	54.278	56.701	59.224	57.545	58.059
Percentatge respecte del total									
CO ₂	71,9	71,5	75,2	78,8	78,7	80,2	80,8	80,5	80,2
CH ₄	12,3	12,4	13,1	13,6	12,4	11,8	11,7	11,7	11,7
N ₂ O	6,4	6,3	6,6	6,5	6,3	5,9	5,5	5,7	5,8
HFC	9,4	9,8	5,0	1,0	2,5	1,9	1,8	2,0	2,1
PFC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SF ₆	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Taula 7. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya i percentatge respecte del total de Catalunya.

disposició de residus. Les emissions del sector *Tractament i deposició de residus* guanya pes els últims anys (del 30 al 47%) en detriment del sector *Agricultura* (del 56 al 47%). La resta d'emissions de CH₄ es concentrava principalment en el sec-

tor de *Processament d'energia*: 5-10% del total; aquestes emissions són per causa de les *Emissions fugitives dels combustibles* (petroli i gas natural).

En el cas de l'N₂O, el sector responsable de més emissions és el d'*Agricultura*, amb un per-

Any base (1990)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Total
Processament d'energia	25.554	473	274	0	0	0	26.301
Indústries sector energètic	3.944	1	34	0	0	0	3.979
Indústries de manufactura i construcció	8.081	10	71	0	0	0	8.162
Transport	10.203	45	132	0	0	0	10.380
Altres sectors de processament d'energia	3.295	87	38	0	0	0	3.420
Fugitives dels combustibles	30	330	0	0	0	0	360
Processos industrials	3.346	17	64	3.722	0	21	7.169
Ús de dissolvents i altres productes	188		57	0	0	0	245
Agricultura	0	2.654	2.407	0	0	0	5.061
Tractament i deposició de residus	10	1.559	168	0	0	0	1.737
Total	29.098	4.702	2.970	3.722	0	21	40.513
2000							
Processament d'energia	33.848	628	471	0	0	0	34.947
Indústries sector energètic	5.077	3	49	0	0	0	5.130
Indústries de manufactura i construcció	11.094	22	85	0	0	0	11.201
Transport	13.014	36	296	0	0	0	13.347
Altres sectors de processament d'energia	4.635	72	40	0	0	0	4.747
Fugitives dels combustibles	27	495	0	0	0	0	522
Processos industrials	4.329	22	59	5.254	6	36	9.706
Ús de dissolvents i altres productes	217	0	68	0	0	0	285
Agricultura	0	3.340	2.615	0	0	0	5.956
Tractament i deposició de residus	4	2.670	172	0	0	0	2.846
Total	38.397	6.660	3.385	5.254	6	36	53.739
2005							
Processament d'energia	42.870	723	612	0	0	0	44.206
Indústries sector energètic	9.281	19	79	0	0	0	9.379
Indústries de manufactura i construcció	13.289	34	101	0	0	0	13.423
Transport	14.630	28	388	0	0	0	15.047
Altres sectors de processament d'energia	5.603	74	45	0	0	0	5.721
Fugitives dels combustibles	67	568	0	0	0	0	635
Processos industrials	4.740	25	68	1.091	16	51	5.991
Ús de dissolvents i altres productes	226	0	38	0	0	0	265
Agricultura	0	3.223	2.368	0	0	0	5.591
Tractament i deposició de residus	0	2.983	188	0	0	0	3.171
Total	47.837	6.955	3.274	1.091	16	51	59.224
2007							
Processament d'energia	41.809	361	643	0	0	0	42.813
Indústries sector energètic	8.261	20	75	0	0	0	8.356
Indústries de manufactura i construcció	12.190	34	96	0	0	0	12.320
Transport	15.861	26	428	0	0	0	16.315
Altres sectors de processament d'energia	5.441	73	44	0	0	0	5.558
Fugitives dels combustibles	56	208	0	0	0	0	264
Processos industrials	4.533	27	65	1.245	20	63	5.953
Ús de dissolvents i altres productes	222	0	74	0	0	0	296
Agricultura	0	3.181	2.403	0	0	0	5.584
Tractament i deposició de residus	1	3.219	194	0	0	0	3.413
Total	46.565	6.787	3.379	1.245	20	63	58.059

Taula 8. Emissions de gas i sector de GEH a Catalunya els anys 1990, 2000, 2005 i 2007.

centatge entre el 70-80%. El següent sector amb un percentatge que ha augmentat els darrers anys (de 10-20%) és el sector de *Processament d'energia*.

Referent als gasos fluorats, en tots tres casos: SF₆, HFC i PFC, les seves emissions es troben el sector *Processos industrials*. Concretament, en els processos de *Producció i consum d'halocarburs* i SF₆.

4.4.4. Emissions directes i difuses

La Unió Europea va establir un conjunt de mesures per facilitar el compliment del Protocol de Kyoto, en què destaca la referent a la posada en marxa d'un règim per al comerç de drets d'emissions de GEH (Directiva 2003/87/CE). La Directiva estableix la necessitat que cada Estat membre elabori un Pla nacional d'assignació d'emissions (PNA). En el cas espanyol, dóna lloc: per al període 2005-2007, al Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión, i un posterior, per al període 2008-2012; II Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión. El període d'aquest segon PNA coincideix amb el període de compromís establert al Protocol de Kyoto en la Convenció Marc de les Nacions Unides pel Canvi Climàtic.

Aquest segon PNA, seguint l'experiència del primer, té per objectiu ajudar a reduir les emissions de generació elèctrica i la indústria (denominades emissions directes), però sense afectar la competitivitat i els llocs de treball de l'economia espanyola. El règim de comerç d'emissions de GEH és aplicable inicialment a les emissions de CO₂ procedents d'instal·lacions que es troben descrites en l'annex I de la Llei 1/2005, instal·lacions industrials com ara: generació elèctrica, refineries, producció i transformació de metalls, ferro, ceràmica, ciment, vidre, calç, paper i cartró, etc. En queden excloses les instal·lacions de residus peril·losos i residus urbans.

Juntament amb el PNA, es volen tenir en compte, no només els sectors afectats per la normativa comunitària, sinó també la resta de sectors, els anomenats sectors difusos. S'està treballant en aquest sentit i fruit d'aquest esforç són, a nivell estatal: Plan de Energías Renovables 2005-2015, Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2005-2007 i el Código Técnico de Edificación.

Amb l'objectiu de diferenciar entre emissions directes i difuses, es fa una agregació dels sectors d'emissions corresponents. Es consideren com a

	Directes	Δ Directes (%)	Directes (%)	Difuses	Δ Difuses (%)	Difuses (%)
Any base	19.310	0,0	47,7	21.203	0,0	52,3
1990	17.160	-11,1	44,7	21.203	0,0	55,3
1991	16.857	-12,7	43,2	22.121	4,3	56,8
1992	17.425	-9,8	43,0	23.133	9,1	57,0
1993	16.370	-15,2	41,7	22.874	7,9	58,3
1994	19.152	-0,8	44,6	23.780	12,2	55,4
1995	22.046	14,2	46,7	25.190	18,8	53,3
1996	21.524	11,5	45,7	25.609	20,8	54,3
1997	23.128	19,8	47,9	25.206	18,9	52,1
1998	22.731	17,7	46,6	26.037	22,8	53,4
1999	25.011	29,5	48,5	26.593	25,4	51,5
2000	26.037	34,8	48,5	27.702	30,7	51,5
2001	23.995	24,3	45,7	28.499	34,4	54,3
2002	23.100	19,6	44,8	28.463	34,2	55,2
2003	25.250	30,8	46,5	29.028	36,9	53,5
2004	27.103	40,4	47,8	29.598	39,6	52,2
2005	28.793	49,1	48,6	30.431	43,5	51,4
2006	26.968	39,7	46,9	30.577	44,2	53,1
2007	26.629	37,9	45,9	31.431	48,2	54,1

Taula 9. Emissions de GEH a Catalunya, discriminades entre difuses i directes.

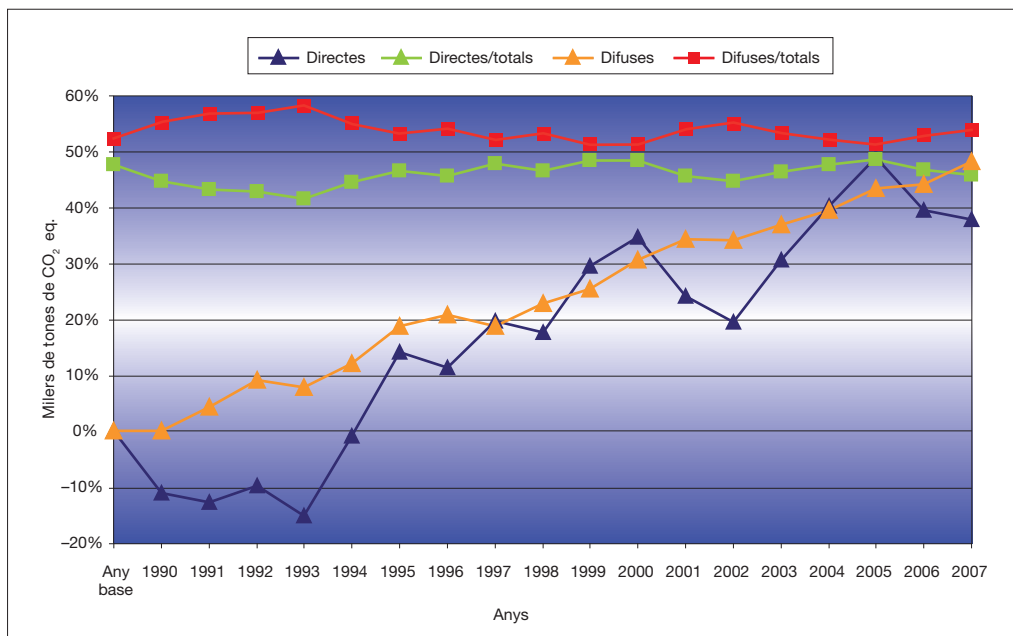


Figura 18. Emissions difuses i directes de CO₂ eq. a Catalunya. Increment anual i percentatge respecte del total de les emissions.

emissions directes el sector *Processos industrials* i les activitats del sector *Processament d'energia: Indústries del sector energètic i Indústries de manufactura i construcció*. La resta de sectors es consideren emissions difuses: *Ús de dissolvents i altres productes, Agricultura, Tractament i disposició de residus*, així com la resta d'activitats del sector *Processament d'energia*.

Analitzant la figura 18 i la taula 9, es pot observar que a Catalunya les emissions difuses són majoritàries. Això vol dir que, a fi de reduir les emissions totals de Catalunya, s'ha de treballar en la reducció de les emissions difuses, ja que aquestes són majoritàries. No obstant això, aquestes emissions són les que més creixen els darrers anys; increment del 48,2% en el període 1990-2007.

A nivell internacional, també s'estan fent esforços en el control de les emissions difuses. A França s'està discutint sobre l'aprovació d'una taxa per a les emissions difuses de 32 €/t CO₂ eq., a fi d'esperonar les empreses, el sector públic i la població en general a un replantejament del model actual de consum.

D'altra banda, les emissions directes creixen menys, un 37,9%. Cal destacar que les emissions

directes en el període 1990-1993 experimenten una reducció respecte de l'any base (1990) per dues causes. La primera i més important és la crisi que va afectar Catalunya i Espanya durant aquest període. La segona raó és una qüestió metodològica. Com s'ha explicat a l'inici de l'apartat 3, l'any base (1990) és un híbrid ja que també inclou les emissions de gasos fluorats de 1995 i que, per tant, afecta les emissions de *Processos industrials*.

S'observa un pic l'any 2005 de les emissions directes. La raó es pot trobar en el fet que aquest any presenta una molt baixa producció d'energia hidràulica i anormalment baixa d'energia nuclear (II PNE, 2006), la qual cosa comporta un increment de les emissions a causa de *Processament d'energia i Indústries del sector energètic*.

4.4.5. Emissions atribuïbles a l'ús d'energia primària

Amb l'objectiu d'obtenir informació sobre les emissions específiques atribuïbles a l'ús d'energia per unitat d'energia primària consumida, s'analitzen aquestes emissions que corresponen a les

del sector *Processament d'energia*. L'energia primària és aquella que no ha estat sotmesa a cap procés previ de conversió.

Així doncs, s'observa (figures 19 i 20) que les emissions d'aquest sector representen al voltant

del 70% a Catalunya i del 76% a Espanya. Les seves emissions augmenten per sobre del total d'emissions; en concret: a Catalunya augmenten de l'ordre del 62,8% en el període 1990-2007, i del 62,6% a Espanya.

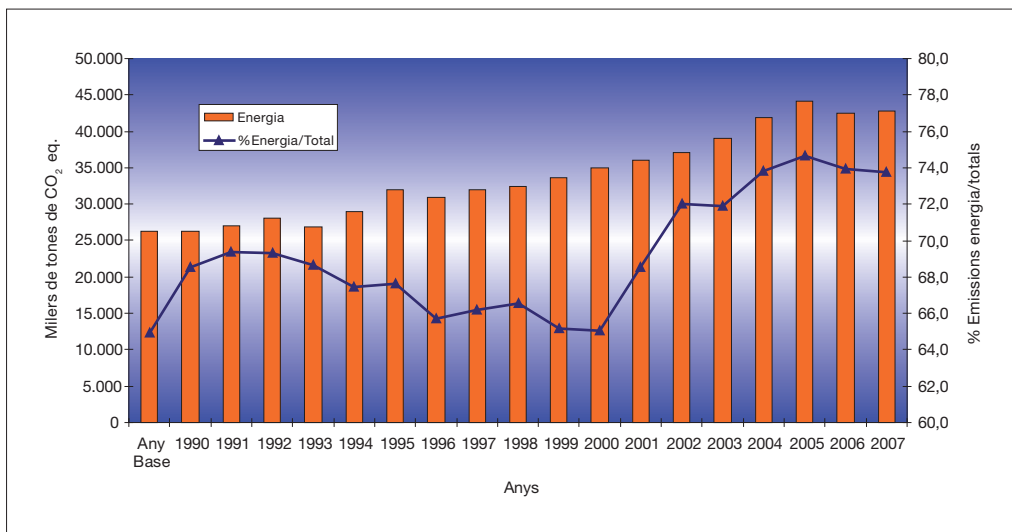


Figura 19. Evolució de les emissions de CO₂ eq. degudes a energia a Catalunya i percentatge respecte del total.

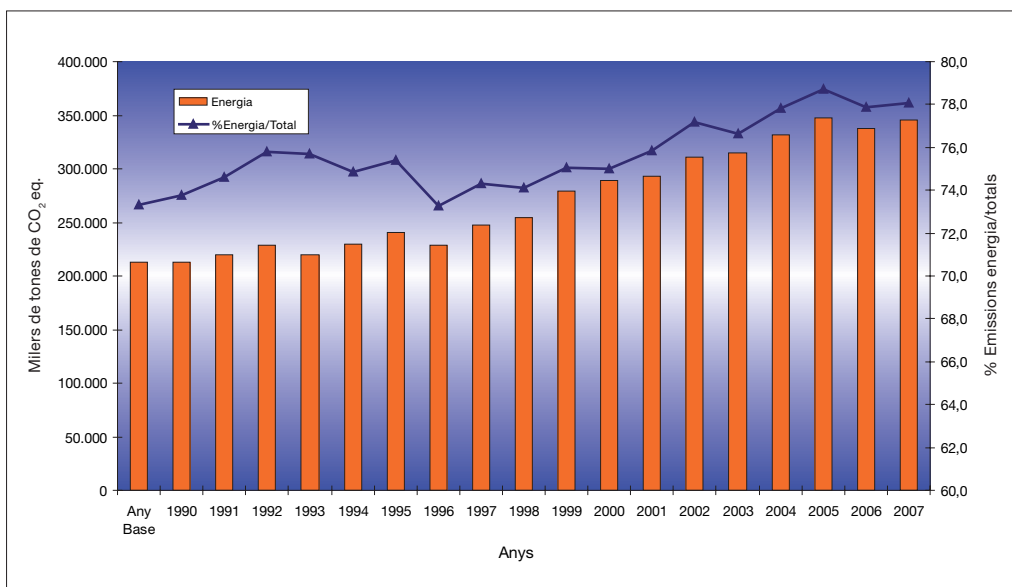


Figura 20. Evolució de les emissions de CO₂ eq. degudes a energia a Espanya i percentatge respecte del total.

Si s'analitza la ràtio d'emissions atribuïbles al *Processament d'energia*/energia primària, no s'observen tendències diferents entre Catalunya i Espanya en el comportament d'aquest període (1990-2007) (figura 21). No obstant això, tot i

que tenen la mateixa tendència, cal destacar que les emissions de GEH per energia primària a Espanya són superiors a Catalunya. La raó és la diferència en les fonts de generació d'energia (taula 10). Una part de l'energia que es genera a

	Petroli	Carbó	Gas natural	Nuclear	Hidràulica	Saldo	TOTAL	Increment (%)
Catalunya ktep								
1990	8.479,2	829,9	1.749,2	5.501,0	255,6	144,8	16.959,7	0,0
1991	8.892,4	787,3	1.891,3	5.469,8	299,6	254,5	17.594,9	3,7
1992	8.986,1	607,5	2.013,6	5.430,8	408,9	85,5	17.532,4	3,4
1993	9.370,8	490,5	1.887,7	5.371,0	355,3	263,6	17.738,9	4,6
1994	9.685,8	470,3	1.991,2	5.537,5	387,5	235,9	18.308,2	8,0
1995	10.185,0	464,7	2.215,7	5.241,1	338,5	388,9	18.833,9	11,1
1996	10.801,6	530,2	2.505,5	5.628,1	502,4	105,5	20.073,3	18,4
1997	10.501,7	579,1	3.206,6	5.658,6	456,0	110,2	20.512,2	20,9
1998	11.362,9	443,5	3.162,6	6.081,0	402,0	179,7	21.631,7	27,5
1999	11.860,7	475,7	3.643,0	5.948,5	397,6	215,9	22.541,4	32,9
2000	11.578,8	503,3	3.937,1	6.353,8	398,7	322,9	23.094,6	36,2
2001	12.032,8	362,1	4.247,5	6.491,1	450,0	384,2	23.967,7	41,3
2002	12.351,9	507,7	4.913,3	6.400,6	370,7	347,4	24.891,6	46,8
2003	12.578,4	473,1	5.435,4	6.419,8	533,7	330,4	25.770,8	52,0
2004	12.954,2	542,9	6.211,7	6.159,2	483,1	210,3	26.561,4	56,6
2005	13.019,8	551,0	6.870,2	5.231,0	346,1	602,1	26.620,2	57,0
2006	12.643,5	566,7	6.085,6	5.927,0	329,5	692,5	26.244,8	54,7
2007	12.933,8	603,3	6.682,6	5.280,3	353,0	825,7	26.678,7	57,3
Espanya ktep								
1990	47.741,0	18.974,0	5.000,0	14.138,0	2.205,0	-36	88.022,0	0,0
1991	49.367,0	18.992,0	5.511,0	14.484,0	2.349,0	-58	90.645,0	3,0
1992	50.464,0	19.277,0	5.851,0	14.537,0	1.724,0	55	91.908,0	4,4
1993	49.709,0	18.418,0	5.829,0	14.609,0	2.155,0	109	90.829,0	3,2
1994	51.894,0	18.018,0	6.479,0	14.415,0	2.425,0	160	93.391,0	6,1
1995	54.610,0	18.721,0	7.504,0	14.449,0	2.000,0	386	97.670,0	11,0
1996	55.433,0	15.810,0	8.401,0	14.680,0	3.521,0	91	97.936,0	11,3
1997	57.396,0	18.010,0	11.057,0	14.411,0	3.117,0	-264	103.727,0	17,8
1998	61.670,0	18.300,0	11.816,0	15.376,0	3.220,0	293	110.675,0	25,7
1999	63.041,0	20.976,0	13.535,0	15.337,0	2.484,0	492	115.865,0	31,6
2000	64.663,0	22.137,0	15.223,0	16.211,0	2.943,0	382	121.559,0	38,1
2001	66.622,0	20.105,0	16.405,0	16.602,0	4.132,0	298	124.164,0	41,1
2002	67.334,0	22.679,0	18.757,0	16.422,0	2.808,0	458	128.458,0	45,9
2003	69.233,0	21.046,0	21.255,0	16.125,0	4.584,0	109	132.352,0	50,4
2004	71.018,0	22.000,0	24.671,0	16.576,0	4.128,0	-260	138.133,0	56,9
2005	71.765,0	22.514,0	29.120,0	14.995,0	3.527,0	-116	141.805,0	61,1
2006	70.759,0	19.849,0	30.298,0	15.669,0	4.227,0	-282	140.520,0	59,6
2007	70.848,0	21.742,0	31.602,0	14.360,0	4.751,0	-495	142.808,0	62,2

Taula 10. Energia primària a Catalunya i Espanya. (El saldo d'energia elèctrica representa importació-exportació).
Font: INE i IDESCAT, 2009.

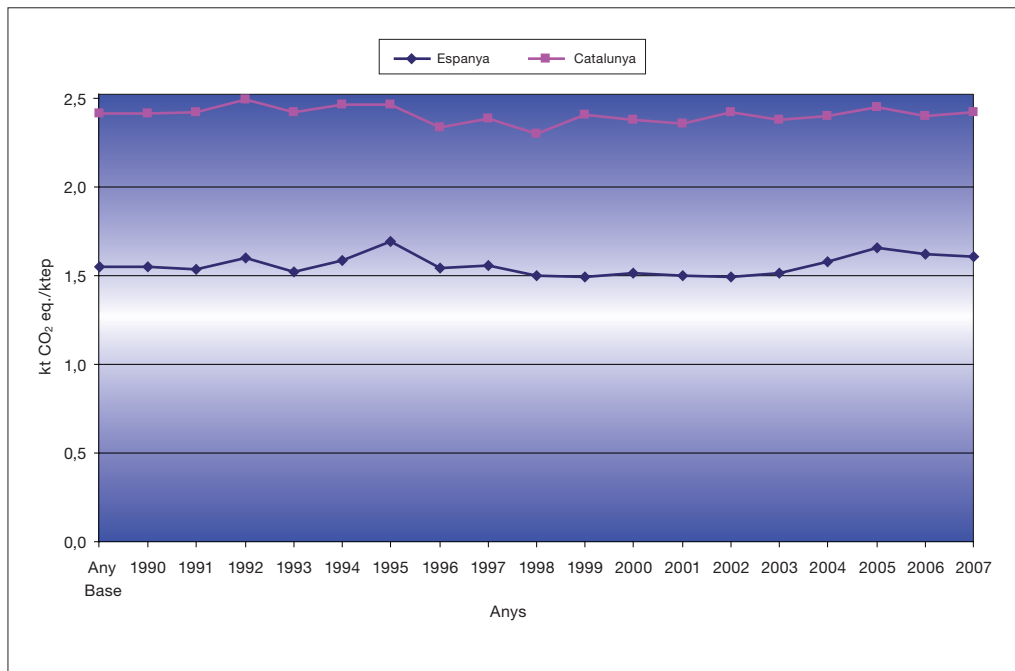


Figura 21. Ràtio d'emissions atribuïbles al sector Processament d'energia primària respecte d'energia primària a Catalunya i Espanya.

Catalunya prové de l'energia nuclear (al voltant del 30% en aquest període). Gairebé el 40% de l'energia nuclear que es genera a Espanya prové de Catalunya. Un altre factor és la qualitat dels combustibles fòssils utilitzats, i en conseqüència la quantitat de les seves emissions. A Catalunya l'ús de gas natural és més majoritari que no pas a Espanya (entre el 35% i el 20% de l'energia que es produeix a Espanya a partir de gas natural prové de Catalunya); per contra, a Espanya s'utilitza molt més el carbó que no pas a Catalunya (només el 3-4% del consum de carbó a Espanya correspon a Catalunya). Els factors d'emissió de CO₂ per gas natural són inferiors a altres combustibles fòssils com el carbó o el gasoil (EMEP/CORINAIR, 2006).

Les emissions degudes a energia són un punt clau pel que fa a les emissions de GEH i a l'emissió de gasos en general. S'han de dur a terme esforços en política mediambiental en aquests sectors. Els dos camins complementaris per tal de reduir les emissions corresponents a energia són: l'estalvi i eficiència energètica, i l'increment de les energies renovables.

En primer lloc, a Catalunya els darrers anys el consum energètic ha augmentat considerablement, increment provocat, en part, pel desenvolupament econòmic i també per la millora de la qualitat de vida.

També s'ha d'assenyalar que la demanda d'energia ha crescut lleument per sobre del ritme econòmic, tot i que els darrers anys s'observa una tendència a la baixa. La intensitat energètica és l'indicador que relaciona les unitats d'energia necessàries per produir una unitat de PIB. Aquest indicador a Catalunya, després d'un període de creixement (1990-1998) i posterior d'estabilitat (1999-2004), els darrers anys (2005-2007) mostra un descens (figura 22 superior). Un descens en la intensitat energètica indica que darrerament l'economia Catalana reclama menys energia per generar la mateixa quantitat de béns i serveis. A Europa aquesta tendència a la baixa s'observa des de fa més temps, concretament des del 1996 (figura 22 inferior).

En segon lloc, un dels camins que ha ajudat a reduir les emissions de gasos pel que fa a generació d'energia, i que té un llarg recorregut

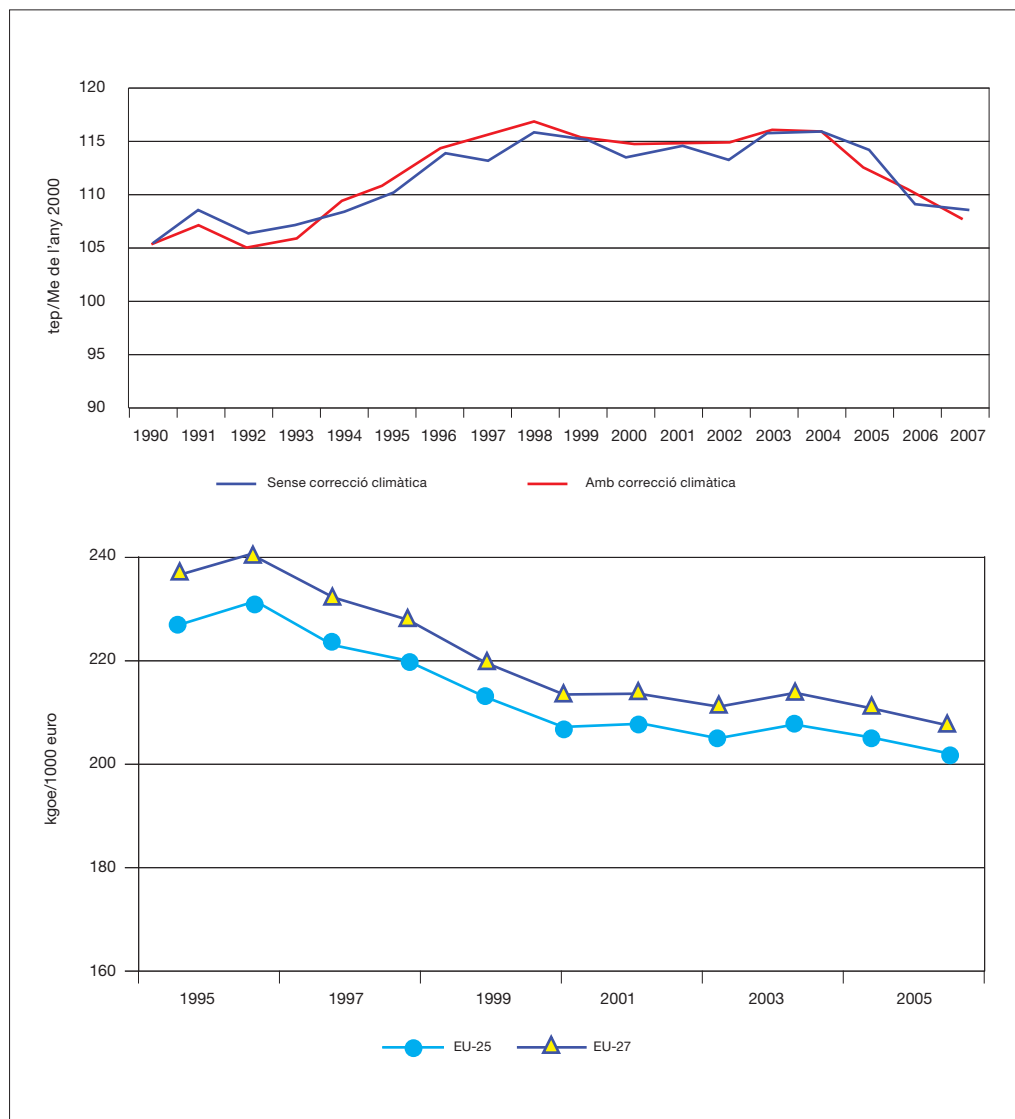


Figura 22. Evolució de la intensitat energètica a Catalunya (superior) i Europa (inferior) els darrers anys.
Font: ICAEN, 2008 i EUROSTAT, 2007.

a Catalunya, és el creixement de l'energia eòlica.

És l'àrea de més desenvolupament els darrers anys pel que fa a energies renovables. La potència eòlica instal·lada a tot Espanya és de 16.740 MW, mentre que a Catalunya hi ha 420 MW (dades d'1 de gener de 2009) (Asociación Empresarial Eólica, 2009). Segons el Plan de Energías Renovables en España 2005-2010, es plantejava com

a objectiu un increment de 12.000 MW en el període 2005-2010. Especialment ambiciosos es consideren els increments plantejats per a Andalusia (4.000 MW el 2010) i Catalunya (3.000 MW el 2010). La generació eòlica espanyola el 2007 es va situar en 27.247 GWh, o sigui el 9,8% de la producció total d'energia elèctrica nacional, quantificada en 276.849 GWh. L'aportació d'energia eòlica creix cada any. Les dades del 2008

mostren un increment del 15,2% respecte de l'any anterior (31.777 GWh) (Red Eléctrica de España, 2009). Sense l'aportació de l'energia eòlica, a Espanya les emissions de GEH serien superiors (no es pot dir una xifra exacta, ja que aquesta depèn del *mix* energètic).

4.5. Estratègies i objectius a mitjà i curt termini

Les emissions amb efecte d'hivernacle a Catalunya i a Espanya el 2007 s'incrementen molt (43,2% i 52,6%, respectivament) respecte de les de l'any base (1990). Aquests increments superen amb escreix els compromisos signats al Protocol de Kyoto (increment màxim del 15% per a Espanya en el període de compromís 2008-2012 respecte de l'any base 1990). Amb la finalitat de reduir les emissions i apropar Espanya als compromisos de Kyoto neix el II Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión (2008-2012) (Reial decret 1370/2006), que és el segon pla d'assignació de drets d'emissió, ja que el primer corresponia al període 2005-2007. L'objectiu d'aquests plans és, d'una banda, fer possible el compliment del Protocol de Kyoto i, d'altra, preservar la competitivitat econòmica i presupostària per no afectar negativament l'economia espanyola.

El PNA planteja un escenari de compliment en què les emissions totals de GEH durant el període 2008-2012 no augmentin més del 37% respecte de l'any base (1990). Actualment Espanya ja està àmpliament per sobre d'aquest nivell, tot i que ja és una xifra considerablement elevada i, per tant, també per sobre del 24% plantejat en el primer PNA i més encara del 15% de Kyoto. Entre altres punts, es planteja el manteniment de les emissions considerades directes per al compliment d'aquest objectiu, detallades a la Llei 1/2005 (45% del total). Tal com es detalla en la *Planificación de los sectores de electricidad y gas 2007-2016*, s'ha de fer un gran esforç en eficiència energètica i energies renovables. També calen mesures addicionals pel que fa als sectors no inclosos en la Llei, com les fonts difuses.

Des de Catalunya, el Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 trasllada l'objectiu de l'Estat espanyol de reduir les emissions difuses al 37% a Catalunya. Amb el Pla d'e-

nergia de Catalunya 2006-2015 es volen sumar esforços a les propostes europees, com és: el Pla d'acció per a l'eficiència energètica (2007-2012), la finalitat del qual és reduir el consum d'energia en un 20% el 2020; i a les proposades per l'Estat espanyol amb la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4).

L'actual crisi econòmica que afecta Catalunya i Espanya, planteja noves incerteses pel que fa a les emissions de GEH. A falta de dades oficials per al 2008 i 2009, tot indica, d'acord amb l'experiència de crisis anteriors, que provocarà una reducció de les emissions precisament per un decreixement de l'economia, la producció i el consum.

El repte serà, un cop superada aquesta crisi, i quan millori l'economia, aconseguir un canvi radical en la tendència i assolir una reducció significativa de les emissions. En aquest punt hi ha dues opcions; en primer lloc, si l'actual crisi econòmica no provoca un canvi de plantejament en el model socioeconòmic energètic, hi haurà un nou increment de les emissions. Però si s'aconsegueix un canvi socioeconòmic energètic profund, aquest hauria de permetre també un canvi a la baixa de les emissions.

4.6. Conclusions

Les emissions dels GEH tenen un efecte global i afecten el conjunt dels sistemes terrestres. A nivell mundial, les emissions de CO₂ s'han incrementat de forma exponencial d'ençà de l'inici de la Revolució Industrial. El principi que inspira la Convenció Marc de les Nacions Unides pel Canvi Climàtic és la responsabilitat compartida però diferenciada.

Tot i que Catalunya representa tan sols l'1 per mil de la població mundial, el 0,2 per mil de la superfície terrestre i el 2,7 per mil del consum energètic mundial, ha de fer un esforç en el control de les emissions de GEH.

Les emissions de GEH a Catalunya, que representaven el 14,0% del total espanyol de l'any base (1990), van créixer un 43,2% entre l'any base i el 2007 (de 40.513 a 58.059 kt CO₂ eq.). A Espanya aquest increment encara va ser més elevat: el 52,6% (de 289.773 a 442.322 kt CO₂ eq.), mentre que segons el Protocol de Kyoto, Espanya té com a objectiu no incrementar les emis-

sions de GEH més d'un 15% en el període de compromís 2008-2012 respecte de l'any base (1990).

En analitzar l'inventari d'emissions per sectors i contaminants, s'hi observa com el CO₂ és el principal gas responsable de l'efecte d'hivernacle, amb un 80,2% del total de les emissions en el cas de Catalunya. El principal sector emissor de GEH és el que inclou activitats amb l'ús de combustibles fòssils: *Processament d'energia* (73,7%). Dins d'aquest sector, les emissions a causa del *Transport* i d'*Indústries de manufactura i construcció* representen el 28,1% i 21,2%, respectivament.

Per tal d'identificar les emissions dels importants focus industrials, que poden entrar a formar part d'un dels mecanismes de flexibilitat establerts en el Protocol de Kyoto: el comerç d'emissions, les emissions dels sectors s'agrupen en fonts directes i difuses. Les emissions difuses, que no poden entrar dins del comerç d'emissions, representen a Catalunya aproximadament el 55% del total d'emissions i van créixer un 48,2% en el període 1990-2007. Pel que fa a les emissions directes, que representen aproximadament el 45% de les emissions total, van créixer menys, un 37,9%.

Si s'analitzen les emissions que depenen directament de l'ús d'energia: *Processament d'energia*, les seves emissions de GEH representen aproximadament del 70% del total, i van augmentar de l'ordre del 62,8% en el període 1990-2007.

És a dir, tot i que Catalunya té relativament poca incidència a nivell mundial, el problema del canvi climàtic és un problema global, i tots els països han de sumar esforços per assolir una reducció de les emissions, especialment els països industrialitzats, els quals, tant pel temps que porten emetent com per la quantitat d'emissions, hi tenen més responsabilitat. Els darrers anys les emissions de Catalunya s'han incrementat substancialment (43,2%). Cal encaminar els esforços i treballar en matèria de política mediambiental per reduir les emissions de GEH, especialment en aquells sectors que comprenen activitats de combustió de combustibles fòssils, com són el sector *Processament d'energia*, en què destaquen les activitats d'*Indústries del sector energètic* i

Transport. Aquestes activitats són les que tenen un pes relatiu més elevat en el total de les emissions i les que, justament, més han crescut els darrers anys.

Referències

- ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA (2009). *Anuario eólico 2009*.
- CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER (CDIAC). *Global, Regional, and National Annual Time Series (1751-2006)*.
<http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.html> (25 d'agost de 2009).
- COMISIÓN DE COORDINACIÓN DE POLÍTICAS DE CAMBIO CLIMÁTICO (2007). *El Cambio Climático en España. Estado de situación. Informe para el Presidente del Gobierno elaborado por expertos en cambio climático*.
- DEPARTAMENT DE TREBALL I INDÚSTRIA (2006). *Pla d'energia de Catalunya 2006-2015*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS (2007). *Urban Population, Development and the Environment*. New York: United Nations.
- Directiva 2003/87/CE, del Parlament Europeu i del Consell, de 13 d'octubre de 2003, per la qual s'estableix un règim per al comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat i per la qual es modifica la Directiva 1996/61/CE del Consell; *Diario Oficial de la Unión Europea*.
- EMEP/CORINAIR (2006). *Emission Inventory Guidebook*. European Environment Agency.
- EUROPEAN COMMISSION, JOINT RESEARCH CENTRE (JRC), NETHERLANDS ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AGENCY (PBL). *Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.0*.
<<http://edgar.jrc.ec.europa.eu>, 2009> (25 d'agost de 2009).
- EUROSTAT, *EU Statistics*. <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tps00001>> (25 d'agost de 2009).
- EUROSTAT (2007). *Energy, transport and environment indicators*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- FCCC (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Nova York: Naciones Unidas.
- (1998). *Protocolo de Kyoto*. Kyoto: Naciones Unidas.

- GRUPO INTERMINISTERIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (2006). *Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión 2008-2012*. Madrid: Gobierno de España.
- INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA (2008). *Memòria 2008*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA. <<http://www.ides-cat.cat/>> (25 d'agost de 2009).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. <<http://www.ine.es/>> (25 d'agost de 2009).
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA (2005). *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010*. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- (2007). *Estrategía de ahorro y eficiencia energética en España 2004-2012*. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2009). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*.
- IPCC (1995). *Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ginebra.
- (2006). *Directrius del IPCC pels inventaris de gasos amb efecte d'hivernacle*.
- (2007). *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ginebra.
- Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero; Boletín Oficial del Estado número 59 de 10 de marzo de 2005.
- LLEBOT, J.E. (2005). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: IEC i Consell Assessor pel Desenvolupament Sostenible.
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2007). *Diagnosi sobre l'estat de compliment del Protocol de Kyoto a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- (2009). *Estimació de les emissions a Catalunya de l'any base a l'any 2007*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- (2009). *Inventari d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle 7 Sectors IPCC de Catalunya (1990-2007)*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- (2008). *Les 100 primeres pàgines del Canvi Climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- (2008). *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (2009). *El sistema eléctrico español*. Madrid.
- SECRETARÍA DE ESTADO DE CAMBIO CLIMÁTICO (2009). *Inventarios nacionales de emisiones a la atmósfera 1990-2007*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- SECRETARÍA GENERAL DE ENERGÍA (2007). *Evaluación ambiental de la planificación de los sectores de electricidad y gas 2007-2016*. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- UNFCCC (2009). *National greenhouse gas inventory data for the period 1990-2007*. FCCC/SBI/2009/12.
- UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. <<http://unstats.un.org/unsd/default.htm>> (25 d'agost de 2009).

5. Embornals

Carles Gràcia^{1, 2}

Amb contribucions de:

**Santi Sabaté^{1, 2}, Jordi Vayreda², Teresa Sebastià³, Robert Savé⁴, Miquel Alonso¹
i Montse Vidal¹**

¹ Departament d'Ecologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona

² Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)

³ Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC)

⁴ IRTA, Ecofisiologia/Horticultura Ambiental, Àrea de Medi Ambient i Canvi Global

Carles A. Gràcia és professor d'Ecologia Forestal de la Universitat de Barcelona i membre del Consell de Direcció del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). El seu treball de recerca es concentra principalment en l'anàlisi i modelització dels aspectes ecològics de la fotosíntesi, la respiració i els mecanismes implicats en el creixement dels arbres. És autor de nombroses publicacions i coautor del model GOTILWA+, un model de simulació del creixement forestal. Va promoure i va dirigir l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya dut a terme per l'administració forestal entre els anys 1990 i 2000. Una part de la seva recerca l'ha dut a terme com a professor visitant a diferents universitats d'Austràlia, Sudamèrica i Filipines. Ha estat vicepresident de la *Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET)* i membre de la Junta Directiva de la *Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Ha participat a les Conferències de les Parts de Bonn i Marrakesh de la UNFCCC com a membre de la Delegació Espanyola en les negociacions del Protocol de Kyoto. Actualment és membre de l'equip assessor del *European Forest Institute (EFI)*, així com de la *Mediterranean Regional Office (EFIMED)* of EFI.

Santi Sabaté Professor titular del Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona i investigador del CREAM (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals), especialitzat en ecologia forestal. La seva activitat de recerca i docència es centra en l'estudi de l'estructura i funció dels ecosistemes, els balanços de carboni, aigua i nutrients, així com les respostes ecofisiològiques dels boscos al canvi climàtic, la sequera, els incendis i la gestió. Aquesta activitat es desenvolupa tant en treballs experimentals com en el camp de la modelització. És coautor de GOTILWA+, un model de simulació del creixement dels boscos sota diferents escenaris de gestió i condicions ambientals (inclosos escenaris de canvi climàtic). Ha participat i continua actiu en nombrosos projectes de recerca.

Jordi Vayreda és investigador del CREAM des de 1995. Ha estat responsable dels càlculs i l'anàlisi dels resultats dels inventaris forestals nacionals i de la gestió de les bases de dades que se'n deriven. Ha desenvolupat aplicacions informàtiques per fer cerques a través d'Internet. Ha partici-

pat en diferents projectes europeus i en diferents projectes de recerca. Ha publicat 11 articles en revistes SCI. Actualment desenvolupa la seva recerca dins del projecte Consolidar MONTES sobre els impactes recents del canvi global (gravetat) balanços de carboni (creixement, mortalitat, regeneració) dels boscos espanyols a partir dels dos darrers inventaris forestals nacionals (IFN2 et IFN3) on s'analitza també la vulnerabilitat i la sensibilitat de les diferents espècies forestals.

M. Teresa Sebastià Professora titular de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida des de 1998, dirigeix un grup de recerca al Centre Tecnològic Forestal de Catalunya des de 1997. Doctora en Ciències Biològiques per la Universitat de Barcelona, va fer un postdoctorat sobre la resposta de les plantes al canvi climàtic a la Universitat de Harvard els anys 1995-1997. Ha estat professora convidada a la Universitat de Harvard i a la Universitat College Dublin. Actualment és membre, entre d'altres, del comitè espanyol del *Global Land Project*, i de DIVERSITAS, del comitè assessor de l'Observatori Pirinenc de Canvi Climàtic, i del Grup d'Experts en Canvi Climàtic a Catalunya. A més, desenvolupa tasques de coordinació en diversos projectes sobre els efectes del canvi climàtic i d'ús del sòl sobre la dinàmica del carboni i la biodiversitat en ecosistemes agrícoles, pastorals i forestals a la península Ibèrica i a l'Àfrica. Té més de cent publicacions científiques, incloent-hi llibres, capítols de llibres i articles.

Robert Savé Montserrat (Barcelona, 1954) és llicenciat en Biologia i doctor en Ciències Biològiques per la UAB. Ha treballat en el departament d'Ecologia de la UAB, en el Servei d'Investigació Agrària del Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya, i des de 1985 a l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Des del 2008 és coordinador del Programa d'Horticultura Ambiental i director del subprograma d'Ecofisiologia de l'Àrea de Medi Ambient i Canvi Global de l'IRTA. Membre del Consell de Direcció del CREAF, és professor col·laborador al departament d'Ecologia de la UAB i en la Universitat de les Illes Balears. Treballa en l'horticultura entesa com un component del paisatge, concretant-ho en l'estudi de les relacions hídriques.

Miquel Alonso és doctor en Biologia i especialista en Limnologia. Membre del Departament d'Ecologia de la universitat de Barcelona, pertany a onze associacions científiques. Ha dedicat els últims 32 anys a l'estudi de llacs i embassaments. Té una àmplia experiència internacional. Ha participat en més de 200 projectes relacionats amb temes limnològics per al sector públic i el privat, tant a Catalunya i Espanya com a 23 països més d'Europa, Amèrica, Àsia i Àfrica. És editor associat de *Zootaxa*, autor de 46 publicacions científiques i d'un llibre monogràfic sobre crustacis d'aigües continentals.

Montserrat Vidal és professora titular del Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona, especialitzada en ecologia, biogeoquímica marina i oceanografia. El seu interès científic es centra en l'estudi de la capacitat productiva dels ecosistemes marins i en la seva importància en la regulació del CO₂ atmosfèric. Ha estudiat els fluxos d'elements nutritius i de carboni en diferents regions oceàniques i costaneres. En particular, investiga els processos físics i biològics implicats en l'emmagatzematge de carboni a l'oceà.

Resum	139
Introducció	141
5.1. Processos que determinen el potencial d'embornal dels ecosistemes	142
5.1.1. Absorbir CO ₂ no equival a fixar-lo	144
5.1.2. Embornals a Catalunya	146
5.1.3. Increment anual de la biomassa aèria i subterrània i del carboni fixat	151
5.1.4. La contribució del sotabosc	154
5.1.5. Carboni fixat anualment als boscos de Catalunya	154
5.1.6. Què representa el carboni fixat als boscos?	155
5.1.7. El futur dels boscos de Catalunya com a embornals de CO ₂	155
5.2. El carboni als prats i les pastures de Catalunya	164
5.2.1. Capacitat d'embornal dels prats i les pastures a Catalunya	165
5.2.2. Interacció dels embornals de carboni de prats i pastures de Catalunya amb factors del medi abiòtics	165
5.2.3. Interacció dels embornals de carboni de prats i pastures de Catalunya amb els canvis de gestió i d'ús del sòl	167
5.2.4. Interacció dels embornals de carboni de prats i pastures de Catalunya amb la biodiversitat	168
5.3. Sistemes agrícoles	168
5.4. Sistemes aquàtics continentals com a embornals de CO ₂	171
5.4.1. Influència de llacs i embassaments	173
5.5. Embornals marins	174
5.5.1. El medi costaner	175
5.5.2. El medi oceànic	176
5.5.3. La connexió costa-oceà	176
5.5.4. Avaluació de la capacitat d'embornal de la mar catalana	177
Referències	178

Resum

Els boscos acumulen uns 95 Mm³ de fusta, unes 97,5 Mt de biomassa; el 70% correspon a la part aèria i un 30% a la subterrània (arrels gruixudes), equivalents a 49,2 Mt C. El 21% correspon a alzinars, el 19% a boscos de pi roig i el 13% a boscos de pi blanc. Entre les tres espècies sumen més del 50% del carboni total dels boscos catalans. La part aèria del sotabosc acumula 11,5 Mt de biomassa (equivalents a 5,6 Mt C). Aquestes xifres reflecteixen la quantitat acumulada a cada tipus de bosc al llarg de períodes de creixement o règims de gestió molt diferents. Comparant la biomassa acumulada amb la producció es desprèn una mitjana ponderada d'edat dels boscos de Catalunya d'entre 32 i 33 anys. Existeix una marcada diferència entre el carboni acumulat a les comarques de la meitat nord de Catalunya i les de la meitat sud i terres de l'interior, reflex del paper crucial de l'aigua en el control dels processos de fixació i acumulació de carboni a les forests. Dels 49,2 Mt C, el 36% (17,5 Mt) es troben a Girona, el 30% a Lleida (14,6 Mt), el 27% a Barcelona (13,4 Mt) i un 8% a Tarragona (3,7 Mt). Gairebé el 56% correspon a boscos de coníferes, un 25% a escleròfil·les, i un 19% a caducifolis. De 1989-90 a 2000-01, el volum de fusta al bosc (volum amb escorça) ha augmentat un 35%, un augment mitjà (creixement net) de 2,12 Mm³/any. De mitjana, la mortalitat durant aquest període ha estat de 0,272 Mm³/any, i els aprofitaments de 0,782 Mm³/any. En total, l'augment ha estat de 3,17 Mm³/any. Les espècies amb un creixement net més important en valor absolut han estat *Pinus sylvestris* (563 milers de m³/any), *Pinus halepensis* (359 milers de m³/any), i *Quercus ilex* (253 milers de m³/any). Entre les 3, el 55,4% del total. Els boscos de Catalunya fixen anualment, de mitjana, 1,34 t C/ha/any. L'espècie que més en fixa és *Pinus radiata* (5,42 t C/ha/any) i la que menys *Quercus suber* (0,78 t C/ha/any). En conjunt, els boscos de Catalunya fixen 1,5 Mt C/any.

Si s'hi afegeix el carboni del sotabosc, hi contribueix amb 11,45 Mt de biomassa (5,65 Mt C). La contribució del sotabosc de les pinedes de *Pinus halepensis* (1,38 Mt C) i dels alzinars (*Quercus ilex*, 1,11 Mt C) representa un 50% del total. En conjunt, el carboni retengut a la biomassa dels arbres representa el 89,7% del total (68,8% la part aèria i 31,2% la part

subterrània) i la biomassa del sotabosc afegeix un 10,3% al carboni total retengut als boscos. Una hectàrea de bosc fixa 134 t C/any (4,93 t de CO₂), és a dir, la meitat de les emissions anuals mitjanes de cada habitant de Catalunya, molt properes a 10 t CO₂ habitant /any. Els resultats dels models fisiològics de simulació del creixement forestal indiquen que és previsible que en les condicions futures d'ambient més sec i càlid i menys precipitacions, les taxes de fixació de carboni es redueixin (per la menor disponibilitat d'aigua) i augmentin les taxes de respiració (per l'augment de la temperatura), d'on se'n deriva una reducció de l'efecte d'embornal dels boscos.

Considerant les dates d'inici i final del període vegetatiu entre 1990 i 2000, l'inici del període vegetatiu es retarda de Sud a Nord. Si al Sud de Catalunya pot començar la darrera setmana de març o a principis d'abril, al Pirineu no comença, de mitjana, fins ben iniciat el maig. A més a més, es dona un cert retard en direcció est-oest en els boscos propers a la costa respecte dels situats més a l'interior. A la franja costanera l'inici es dona majoritàriament a finals de març, i a les comarques interiors es retarda fins a la primera quinzena d'abril. Aquest patró es repeteix, poc o molt, al final del període vegetatiu: comença al Pirineu, segueix per les comarques de l'interior, i finalment es manifesta en els boscos propers a la costa en un procés que dura dues o tres setmanes.

Pel que fa a les projeccions futures, si es compara la durada del període vegetatiu de l'any 1990 amb l'estimada per a 2020, 2050 i 2080, es veu clarament com el període vegetatiu comença a allargar-se pel Sud i la zona costanera (2020), i aquest augment és progressiu. Els resultats de les simulacions projecten per a l'any 2080 augments d'entre un i dos mesos respecte de 1990. L'allargament de l'activitat de la vegetació es tradueix en un període més llarg de potencial consum d'aigua, i això en un escenari en què els models projecten una reducció de les precipitacions i una reducció de la reserva d'aigua al sòl de fins a un 35% a finals del present segle respecte de les actuals. Aquesta disminució en comportarà una altra de la producció. Al mateix temps, i considerant el previsible augment de la temperatura, vindrà acompanyat d'un augment de fins a un 23% de la respiració de l'ecosistema, situació que en conjunt

fa preveure una dràstica reducció de l'escassa capacitat d'embornal dels nostres boscos.

Estudis recents mostren la capacitat d'embornal dels sòls de prats i pastures a Europa, tot i que la importància de les pastures per a la mitigació del canvi climàtic es veu disminuïda quan es té en compte el paper d'altres gasos com el CH_4 i els NO_x . A diferència dels boscos, que acumulen força carboni a la biomassa aèria (fusta), els prats i pastures (que ocupen al voltant del 20% del territori) acumulen proporcionalment més carboni als sòls. Segons sembla, aquests ecosistemes es comporten com a embornals; tot i que el coneixement sobre la seva capacitat d'embornal ha augmentat, encara queden moltes llacunes. Al Pirineu català, la biomassa aèria mitjana dels prats de muntanya al pic de la vegetació és d'uns $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$; la biomassa subterrània acumulada als 10 cm superiors del sòl és de 2.000 g , i als 20 primers cm d'uns $3.000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Pel que fa al sòl, un estudi als prats d'altitud pirinencs per sobre dels 1.850 m trobà entre 6 i $30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de carboni orgànic. En un de menys exhaustiu dut a terme a pastures de les muntanyes litorals meridionals del sud de Catalunya s'han trobat valors d'entre 6 i $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Els prats i altres ecosistemes pastorals també acumulen una bona quantitat de carboni al sòl, però la capacitat d'embornal de carboni sembla dependent del tipus de gestió. Alguns autors troben un augment en el carboni orgànic emmagatzemat al sòl amb l'augment de la pressió ramadera. A Catalunya, també se n'ha descrit un increment a mesura que augmenten les càrregues ramaderes, però només en pendents moderats i valors de diferència tèrmica estacional baixos. Tots aquests canvis d'ús i de gestió dels prats i pastures poden modificar la quantitat de carboni al sòl. En pastures abandonades des de fa més de 40 anys, i que constitueixen ja pinedes més o menys denses, s'ha trobat una concentració mitjana de carboni de $13,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ a les muntanyes litorals meridionals, amb una elevada variabilitat. A la muntanya mitjana del Pirineu Oriental els valors trobats en aquest tipus de pinedes són d' $11 \text{ g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$. Finalment, a freixenedes joves del Pirineu Central establertes sobre prats de dall abandonats, els valors mitjans als 20 primers centímetres del sòl són ja d' $11,8 \pm 0,111 \text{ g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$.

La producció total pels diferents conreus de Catalunya es pot xifrar en $6,9 \cdot 10^6 \text{ t}\cdot\text{any}^{-1}$, que dona, sense distingir entre conreus de secà i regadiu, $6,62 \text{ t}$ de matèria fresca $\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$; considerant el percentatge d'aigua equivaldria a unes $3,31 \text{ t}$ de matèria seca

$\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$, i unes $1,39 \text{ t}$ de $\text{C}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$. Aquestes grans xifres indicarien que la producció agrícola efectiva, estaria al voltant del 20 % de la producció agrícola total. De la potencial producció primària anual, $2,89$ i $1,48 \text{ t}\cdot\text{C}\cdot\text{ha}^{-1}$ de secà $\cdot\text{any}^{-1}$ i $7,21$ i $371 \text{ t}\cdot\text{C}\cdot\text{ha}^{-1}$ de regadiu $\cdot\text{any}^{-1}$ es localitzen en la part aèria i subterrània, és a dir el 67 i el 33 % respectivament.

A Catalunya hi ha 30 embassaments que cobreixen 98 km^2 , un 0,3% del total del territori. La superfície ocupada pels llacs, quasi tots al Pirineu, és probablement menor. Els llacs pirinencs són oligotròfics per la qual cosa la fixació de CO_2 deu ser insignificant en el context general del país. Els embassaments emeten CO_2 , però prové de la conca drenant, o sigui que pertany al cicle actual del carboni. De no haver estat transportat cap a l'embassament, hauria estat probablement emès a altres parts de la conca. Els embassaments poden immobilitzar, als sediments anòxics, part d'aquest carboni provinent de la conca i fixat pel propi ecosistema aquàtic. N'hi ha poques dades, però s'ha comprovat que l'embassament de Susqueda reté als sediments $665 \text{ g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{any}$. Aquesta capacitat d'embornal és molt superior al rang normal de sedimentació en llacs (entre 60 i $200 \text{ g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{any}$) i probablement també superior a la dels ecosistemes terrestres substituïts pels embassaments. Tot i aquests valors, el paper de les aigües continentals resulta insignificant en un context global.

El principal procés d'incorporació de CO_2 a les aigües fondes de la Mediterrània occidental té lloc a la zona del Golf de Lleó, i per tant no es poden donar dades específiques per a la mar catalana. La Mediterrània occidental conté una de les poques regions del món on es dona el fenomen de la convecció profunda de mar obert. Es localitza a una zona situada entre els $41,5^\circ$ i els $42,5^\circ$ de latitud N i els 4° i els 6° de longitud E. Les aigües fondes oceàniques i els sediments costaners formen els principals embornals marins de carboni. El transport/enterrament de carboni dins d'aquest reservori té lloc a partir de tres mecanismes singulars: la convecció hivernal de mar obert, les cascades d'aigua densa costanera, i l'enterrament de restes orgàniques a les praderies de *Posidonia oceanica*. El Golf de Lleó és una regió paradigmàtica en aquest sentit, ja que hi són representats tots tres mecanismes. Si en considerem tota l'àrea, el transport anual de carboni cap a l'embornal de les aigües fondes arriba als $120 \times 10^{10} \text{ g}\cdot\text{C}$. Quant als sediments costaners, les praderies de *P. Oceanica* (que cobreixen un 10% dels sediments) aporten uns $10^{10} \text{ g}\cdot\text{C}\cdot\text{any}$.

Introducció

El CO₂ es localitza al nostre planeta en tres compartiments principals: el primer, per la importància de la seva magnitud, és el que formen les aigües oceàniques. La quantitat de CO₂ dissolt als oceans s'ha estimat en unes 34 teratones (1 teratona = 10¹² tones), la major part dels quals es localitzen a les aigües intermèdies i profundes. Li segueix en importància el carboni acumulat a la matèria orgànica del sòl, que representa 1,2 teratones més. L'atmosfera acumula una quantitat aproximada de 740 gigatones (1 gigatona = 10⁹ tones).

Els oceans absorbeixen 115 gigatones de carboni, una quantitat equivalent a l'absorció dels ecosistemes terrestres, encara que retornen a l'atmosfera 113 gigatones. La diferència incrementa la biomassa dels productors marins i els sediments, i una petita fracció s'acumula possiblement a les aigües profundes. Un 30% aproxima-

dament de les emissions antropogèniques de CO₂ entre els anys 1800 i 1994 ha anat a parar a l'oceà (Sabine *et al.* 2004). És per això que l'oceà es considera un embornal de carboni de primera magnitud, comparable al que globalment formen els ecosistemes terrestres. El principal magatzem marí de carboni està format pel carboni dissolt a les aigües fonses que circulen a través de totes les conques oceàniques. Es tracta d'un reservori mòbil, ben diferent del continental.

Els ecosistemes terrestres i principalment els boscos afecten de manera important el cicle del carboni en el planeta. Acumulen a la seva biomassa unes 550 gigatones de C. Cada any aquests ecosistemes absorbeixen 110 gigatones, es a dir, de mitjana, una quantitat equivalent al 20% del carboni emmagatzemat a la seva biomassa. No obstant aquesta absorció no equival a un segrest net del carboni atmosfèric. Una part d'aquest carboni absorbit retorna a l'atmosfera per la respira-

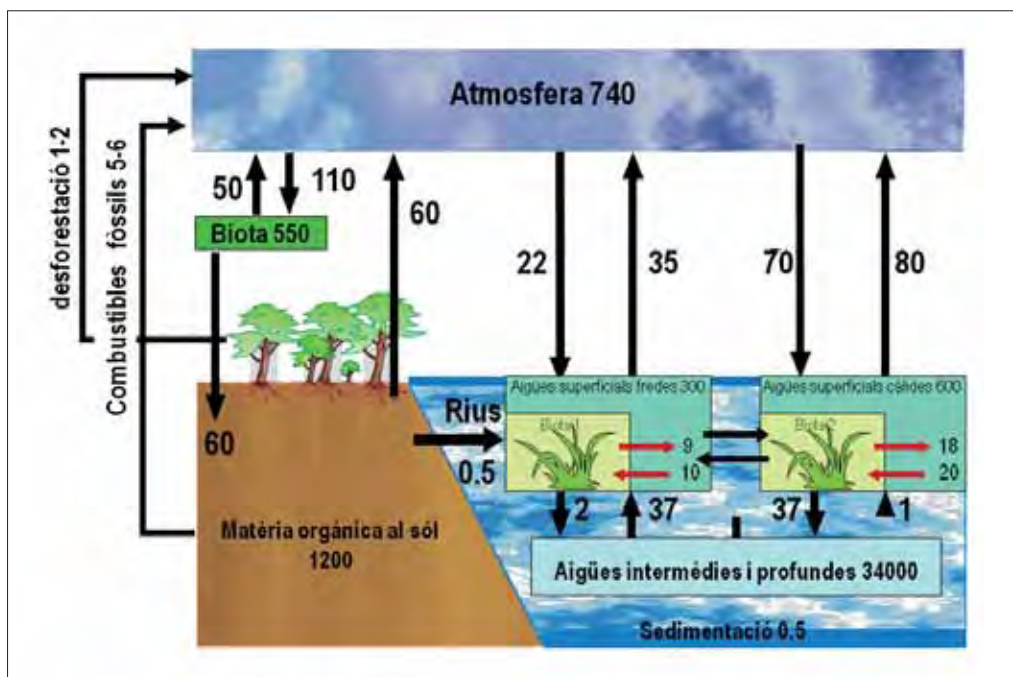


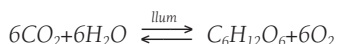
Figura 1. El cicle del carboni al planeta. Es pot apreciar que els tres compartiments més importants són, per aquest ordre, els oceans, el sòl i l'atmosfera. La crema de combustibles fòssils suposa unes emissions de C a l'atmosfera de 6 gigatones anuals a les quals hem d'afegir 1,5 gigatones més com a conseqüència de la desforestació. (Tots els valors són en gigatones (10⁹ tm) de C o milers de milions de tones de C).

ció de les plantes, anomenada respiració autotròfica, (48,5 Gt de C) i per la descomposició de la fullaraca i altres restes de matèria orgànica que cauen al terra i que, amb més o menys inèrcia, són descompostos per bacteris i fongs per acabar retornant a l'atmosfera (unes 60 Gt de C) en el procés conegut com a respiració heterotròfica. Amb aquestes dades es comprèn que, a escala global, les entrades i sortides de carboni dels ecosistemes terrestres representen un equilibri dinàmic en el qual l'acumulació neta de carboni ja sigui a la biomassa o als sòls és molt escassa. Bona prova d'aquesta afirmació la tenim en la coneguda corba de Keeling que reflecteix la concentració de CO₂ a Mauna Loa. En aquesta corba les diferències entre els màxims i els mínims anuals de concentració de CO₂ ve a ser d'unes 8 ppm, i malgrat l'augment notable de CO₂ atmosfèric experimentat al llarg dels anys, aquestes diferències romanen aproximadament constants, indicant una capacitat limitada dels ecosistemes per absorbir CO₂, bona part del qual retornen posteriorment a l'atmosfera. Això no obstant, a escala regional, es donen diferències importants entre diferents biomes i entre els diferents ecosistemes d'un bioma determinat.

5.1. Processos que determinen el potencial d'embornal dels ecosistemes

Resulta clar que el balanç de carboni d'un ecosistema qualsevol, el seu potencial d'embornal, depèn de dos processos essencials que formen part de l'activitat dels organismes: la fotosíntesi i la respiració.

En el procés de la fotosíntesi l'energia de la llum absorbida per la planta s'acumula en forma de molècules de carbohidrats que contenen elevades quantitats d'energia als seus enllaços químics: unes 10 kilocalories per cada gram de carboni fixat. La reacció d'assimilació del CO₂ es pot resumir com:



El resultat és la formació de la matèria orgànica que donarà lloc als teixits vegetals en la composició dels quals el carboni constitueix el 50%, valor pràcticament invariable entre espècies o entre teixits d'una mateixa espècie. Tant per for-

Quadre 1. Termes relacionats amb la fixació de carboni per les plantes

Producció Primària Bruta, PPB Quantitat total de CO₂ que les plantes fixen mitjançant el procés de la fotosíntesi. Es pot expressar en unitats de carboni o de pes sec de matèria orgànica (p.e. gC·m⁻² de fulla·any⁻¹ o gPS·m⁻² de fulla·any⁻¹) o en unitats d'energia per unitat de superfície foliar o de superfície de sòl (p.e. cal·m⁻²·any⁻¹). L'equivalència entre aquestes diferents unitats és tal que, molt aproximadament, 1g de C equival a 2g de pes sec de matèria orgànica, i 1gC = 10 kcal.

Respiració, R Quantitat de CO₂ que desprèn un organisme o sistema com a conseqüència de la seva activitat metabòlica. S'expressa en les mateixes unitats que la PPB. Es consideren diferents components de la respiració, en funció dels organismes que la originen i dels processos en els quals intervé:

Respiració autotròfica, R_a Respiració dels organismes autòtrofs, és a dir, de les plantes.

Respiració heterotròfica, R_h Respiració dels organismes heteròtrofs. Per la seva importància quantitativa relativa, la respiració heterotròfica s'associa moltes vegades a la respiració dels microorganismes que descomponen la matèria orgànica del sòl.

Respiració de formació o de creixement, R_f Respiració metabòlica lligada a la formació de nous teixits.

Respiració de manteniment, R_m Respiració associada al manteniment dels teixits funcionals un cop que aquests ja s'han format.

Producció Primària Neta, PPN Producció primària que queda una cop descomptades les despeses en respiració derivades del metabolisme de la planta (la respiració autotròfica). Per tant, **PPN = PPB - R_a**.

Producció Neta de l'Ecosistema, PNE Quantitat de producció primària que queda un cop descomptada la respiració de l'ecosistema. Per tant, **PNE = PPB - (R_a + R_h)**.

mar els teixits de la planta com, un cop formats, per mantenir-los funcionalment actius, la planta requereix energia química que obté oxidant els carbohidrats de reserva a les mitocondries: és el procés conegut com a respiració, que té lloc simultàniament a la fotosíntesi, de manera que la planta fixa carboni al mateix temps que en va retornant a l'atmosfera.

En la respiració s'oxiden les molècules orgàniques amb oxigen de l'aire per tal d'obtenir l'energia necessària per als processos vitals. En aquest procés es consumeix O₂ i es desprèn CO₂,

raó per la qual podem considerar que la respiració és, en certa manera, el procés contrari a la fotosíntesi, que absorbeix CO_2 y desprèn O_2 . No obstant això convé indicar que, encara que pels seus resultats ho sembli, fixació i alliberament de carboni de l'ecosistema no són passos inversos del mateix procés. Són processos independents en la seva evolució, bioquímica i localització: la fotosíntesi té lloc als cloroplastos en tant que respiració es produeix a les mitocondries.

La quantitat de carboni fixat en la fotosíntesi és controlada principalment per la radiació incident i la temperatura, i és limitada per la disponibilitat d'aigua i de nutrients. La temperatura controla directament les taxes de producció bruta i respiració ja que l'activitat dels enzims implicats en aquests processos depèn de la temperatura. A més a més, determina la taxa de fotosíntesi neta: el balanç entre el carboni atmosfèric fixat per les plantes, la fotosíntesi bruta, i el carboni retornat per la planta durant el procés de la respiració. De mitjana, les plantes aprofiten només l'1% de la radiació que arriba a la superfície de la Terra, fet que hauria de fer pensar als

que pretenen abordar els problemes de l'escassetat d'energia fent servir processos en els que intervé la fotosíntesi, ja sigui aprofitant la biomassa directament o per produir biocombustibles ja que el baix rendiment de la fotosíntesi constitueix un coll d'ampolla de difícil o impossible solució.

Ara bé, hi ha un punt crucial que tot sovint s'oblida: l'entrada de carboni al cloroplast es produeix en el procés d'intercanvi de gasos de tal manera que quan la planta obre els estomes transpira una quantitat considerable d'aigua. Sovint les limitacions en la disponibilitat hídrica actuen forçant el tancament estomàtic i limitant l'entrada i absorció de CO_2 . Per comprendre el paper d'embornals dels ecosistemes mediterranis resulta fonamental entendre el paper de l'aigua en l'absorció de CO_2 des d'una perspectiva quantitativa.

La pèrdua d'aigua per transpiració a través dels estomes és la conseqüència inevitable de l'obertura estomàtica per tal de permetre l'entrada de CO_2 , d'aquí que existeixi una estreta relació entre fotosíntesi i transpiració, ambdues dependents de

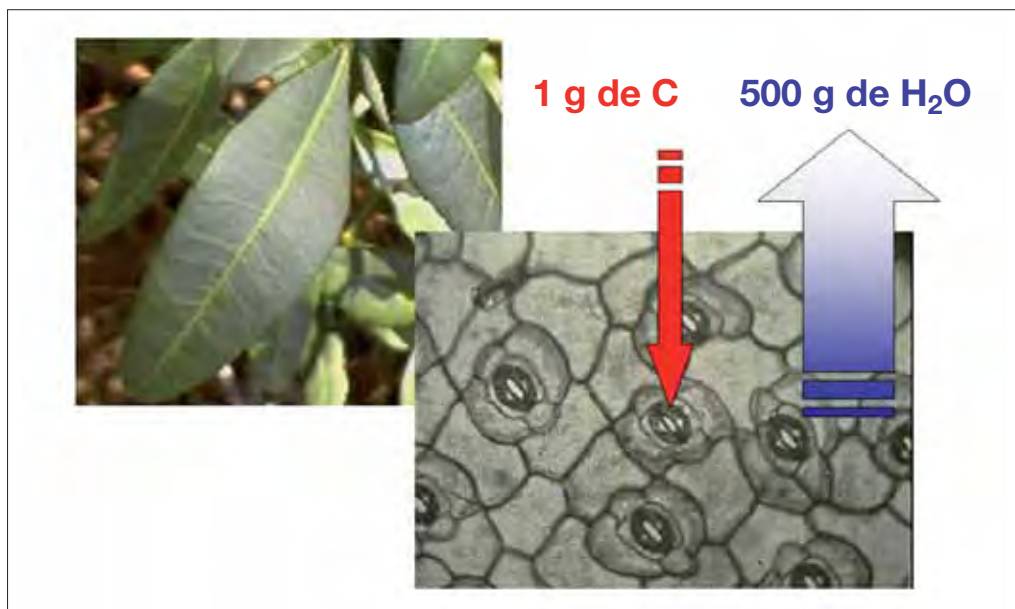


Figura 2. La fixació de carboni pels vegetals en el procés de la fotosíntesi és enormement costosa en termes d'aigua. A l'obrir els estomes per permetre l'entrada de CO_2 , es produeix una pèrdua d'aigua. De mitjana, per cada gram de carboni fixat es perden al voltant de 500 grams d'aigua. L'eficiència en l'ús de l'aigua expressa aquest balanç entre carboni fixat i aigua transpirada.

la conductància estomàtica. La planta ha de regular els estomes de tal manera que minimitzi la pèrdua d'aigua i alhora maximitzar l'entrada de carboni. La quantitat de carboni que una planta és capaç de fixar per unitat d'aigua consumida es denomina 'eficiència en l'ús de l'aigua' i és un valor extraordinàriament baix en totes les espècies. Per terme mitjà, per fixar entre 2 i 3 grams de carboni, la planta ha de transpirar de l'ordre de 1.000 g d'aigua, o sigui, al voltant de 500 vegades el seu pes. El carboni constitueix el 50% de la biomassa seca de les plantes, de manera que amb 1 gram de carboni la planta produirà 2 grams de matèria orgànica. En altres paraules, resulta alligador veure que la producció d'un gram de matèria orgànica requereix transpirar entre 150 i 200 vegades el seu pes en aigua.

Aquesta enorme desproporció entre aigua transpirada i carboni absorbit és la causa de que les plantes resultin tan absolutament dependents de la disponibilitat hídrica. Quan el sol s'asseca, o l'ambient és molt sec, les plantes tanquen els estomes. Tancar estomes per manca d'aigua significa tancar el pas a l'entrada de CO_2 i limitar la fotosíntesi, juntament amb altres processos com l'escalfament foliar, l'epinàstia, el recargolament foliar, variacions de la capa limítrof i la conductància del mesòfil, que encara limitaran més la captació de carboni (Bradford i Hsiao, 1982; Nobel, 1991).

5.1.1. Absorbir CO_2 no equival a fixar-lo

Fins aquí hem vist les bases que permeten entendre els punts clau relacionats amb les entrades i sortides de carboni de l'ecosistema i, per tant, amb el seu possible potencial d'embornal. Una planta típicament mediterrània, amb una eficiència en l'ús de l'aigua que li permet fixar 1 g de carboni per cada 300 g d'aigua transpirada, que rebí una precipitació anual de 600 mm, i que sigui capaç de captar amb les seves arrels fins el 85% d'aquesta precipitació pot arribar a assolir una producció bruta de 17 t C/ha anuals, a condició, això sí, que altres factors com la manca de fòsfor o de nitrogen al sòl o les baixes temperatures no la limitin. No està pas gens malament, 17 $\text{tm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$ de carboni equivalen a 34 $\text{tm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$ de matèria orgànica i gairebé a 62 $\text{tm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{any}^{-1}$ de CO_2 absorbits anualment per una hectàrea de

vegetació vivint en les condicions que hem descrit. Però, malauradament, absorbir CO_2 no equival a fixar-lo permanentment, com alguna vegada s'interpreta erròniament. Una part molt considerable d'aquest CO_2 absorbit és retornat a l'atmosfera en els processos de respiració. La pregunta pertinent és, per tant, quina és la quantitat retornada i, en tot cas, quina és l'absorció neta d'una hectàrea de bosc? Mentre les entrades de CO_2 a la planta es limiten a la producció bruta i es veuen, tot sovint, limitades per la disponibilitat d'aigua, les sortides es produeixen per vies múltiples i alternatives com es veu a la figura 3.

Per una banda es retorna una fracció de CO_2 a l'atmosfera cada vegada que se sintetitza una fracció de nous teixits de la planta. És el que s'anomena respiració de formació o respiració de creixement, i aquesta respiració no representa una fracció sense importància. Per cada gram de matèria orgànica que la planta sintetitza es retornen a l'atmosfera 0,23 g de C o 0,84 g de CO_2 . Dit d'una altra manera: la síntesi d'1 kg de fusta, de fulles o d'arrels representa retornar a l'atmosfera 230 g de carboni o 843 g de CO_2 . A més a més, els teixits formats s'han de mantenir permanentment, fet que significa utilitzar més matèria orgànica de la que la planta ha fixat en la fotosíntesi per tal de recuperar l'energia fixada en forma química amb la qual es podran reparar les proteïnes, àcids nucleics i, en general, totes les molècules i teixits que requereixen reparacions o substitucions. És la denominada 'respiració de manteniment'. Si el cost de formació és molt poc variable entre plantes i fins i tot entre teixits d'una mateixa planta, el cost de manteniment resulta molt més variable. Depèn de la temperatura —en general, a més temperatura més elevada es la respiració— ja que depèn de la composició química dels teixits que s'han de mantenir i de la seva biomassa. Mantenir les fulles i arrels fines de l'arbre —amb diferència els teixits fisiològicament més actius, ve a costar entre 10 i 200 g de CO_2 al dia per cada kg de teixit a una temperatura de 15 °C. Aquests valors es dupliquen per cada 10 °C d'augment de la temperatura ($Q_{10} = 2$) o sigui que, a una temperatura de 25 °C mantenir la mateixa quantitat de teixit viu implica retornar a l'atmosfera entre 20 i 400 g de CO_2 diaris (López *et al.* 1997, 1998, 2001a 2001b).

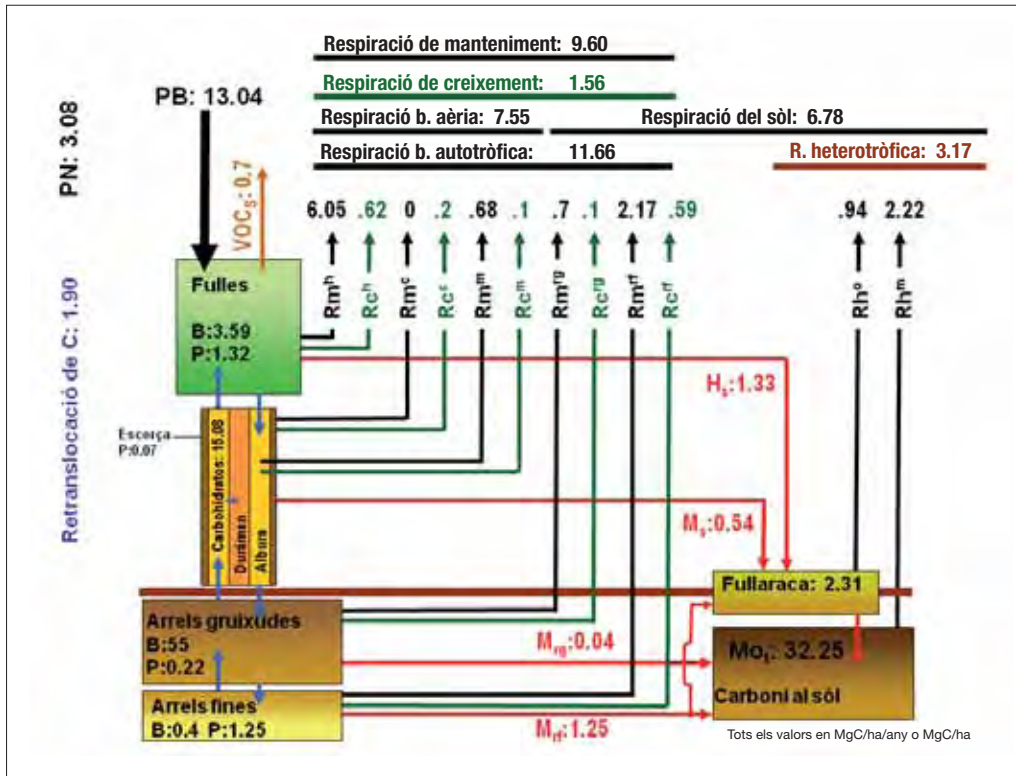


Figura 3. Principals fluxos de carboni que tenen lloc en un bosc i dels que depèn el balanç final de carboni d'aquest. La producció bruta (PB) constitueix l'única entrada de carboni al sistema. Una fracció dels carbhidrats sintetitzats a les fulles és retranslocada als teixits llenyosos vius del tronc i de les arrels (fletxes blaves). La caiguda de fullaraca (H_j), de teixits llenyosos morts (M_j) i d'arrels gruixudes i fines (M_{rg} , M_{rf}) constitueixen els aportes de carboni als horitzons orgànics del sòl; d'aquí és parcialment transferit als horitzons minerals més profunds (fletxes vermelles). Gran part del carboni fixat al bosc acaba retornant a l'atmosfera com a resultat de la respiració de manteniment (fletxes negres, R_m) i de la respiració de creixement (fletxes verdes, R_c) dels diferents teixits de l'arbre. Els valors de la figura il·lustren el cas d'un bosc típicament mediterrani: l'alzinar de les muntanyes de Prades.

La producció primària neta representa la construcció de les estructures de l'ecosistema però també, si els compostos de carboni són mòbils, com ara els carbhidrats, constitueixen la reserva d'energia que la planta pot utilitzar en períodes en que la fotosíntesi no resulta possible, ja sigui perquè és de nit o per tractar-se d'un període d'estrès hídric. La respiració depèn del substrat (la matèria orgànica que s'oxida i de l'oxigen que abunda en l'atmosfera. En aquest cas no resulta necessària ni radiació ni el CO_2 (poc abundant si es compara amb l'oxigen), ni l'aigua, a no ser la que està present a la matriu cel·lular. Com a resultat, la respiració, com la fotosíntesi, ve condicionada per la temperatura, que afecta subs-

tancialment l'activitat metabòlica, però no pels restants factors que modulen la fotosíntesi, i no s'atura mentre l'organisme disposi de substrat per respirar. Per tant, la respiració augmenta amb l'augment de temperatura. Ara bé, amb un augment qualsevol, la respiració augmenta més que no la fotosíntesi. Aquesta diferència determinarà que, com a conseqüència de l'augment de temperatura consegüent al canvi climàtic, encara que ambdós processos podran incrementar-se, la respiració augmentarà en major proporció que la fotosíntesi. L'augment de la temperatura és una de les variables més acceptades del canvi climàtic, i molts models preveuen una disminució de la producció primària neta en no augmentar,

de manera equivalent, la fotosíntesi. Es més, si ens trobem en condicions de reducció de disponibilitat hídrica, en què la fotosíntesi es veu limitada mentre que la respiració continua activa, la producció primària neta pot veure's sensiblement afectada. Si la respiració autotròfica va consumint les reserves de carboni, el bosc pot anar perdent estructura, per exemple una part de les seves fulles, i fins i tot experimentar episodis de mortalitat si el consum de les reserves d'alguns individus és total. És per això que les reserves de carbohidrats són tant importants per explicar la superació d'episodis d'estrès ambiental.

La respiració és la via mitjançant la qual els organismes aprofiten l'energia química emmagatzemada a la matèria orgànica. Aquest procés és molt general, i no només l'utilitzen les plantes que duen a terme la fotosíntesi, també l'utilitzen els animals i els microorganismes (bacteris i fongs). De manera simplificada podem dir que al oxidar-se la matèria orgànica es consumeix oxigen i es produeixen CO_2 i aigua, i es recupera l'energia química del carboni reduït durant la fotosíntesi. D'aquesta manera el CO_2 troba el seu camí de retorn a l'atmosfera. Per tant, els productors primaris fan fotosíntesi i respiren, i depenen d'ells mateixos per produir matèria orgànica i utilitzar l'energia química emmagatzemada en les seves molècules. Per aquesta raó se'ls anomena autòtrofs i la seva respiració es coneix com a respiració autotròfica. La diferència entre el carboni fixat en la fotosíntesi (producció primària bruta) i la respiració autotròfica constitueix la denominada producció primària neta. Aquest balanç ens explica el creixement i el manteniment de la biomassa. Per tal que un sistema, bosc, brolla, pastura o conreu mantingui o augmenti la seva estructura, la producció primària neta no pot ser negativa. A més a més, com que d'aquest balanç positiu de carboni depenen els altres organismes de l'ecosistema, s'ha de produir suficient com per compensar també el creixement i la respiració dels restants organismes de l'ecosistema que no son autòtrofs: els anomenats heteròtrofs. Aquests organismes depenen de la matèria orgànica fixada pels productors primaris i, a la seva respiració, que funciona igual que la de les plantes, se l'anomena heterotròfica. La producció neta de l'ecosistema és la diferència

entre la producció primària neta i la respiració heterotròfica.

5.1.2. Embornals a Catalunya

Bosc, matollars, pastures, conreus i sistemes aquàtics continentals i oceànics constitueixen els sistemes naturals principals, si no únics, embornals de CO_2 a Catalunya. Per la seva importància quantitativa, i per la biomassa que acumulen, els boscos són el principal embornal actual i potencial. Per determinar tant els fluxos com el carboni emmagatzemat als ecosistemes forestals de Catalunya ens hem basat en diverses fonts d'informació, principalment l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya, el Segon i Tercer Inventaris Forestals Nacionals, i el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya.

L'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya (IEFC, Gràcia *et al.* 2004, 2005) va constituir el primer mostreig extensiu dels boscos de Catalunya que es va dur a terme entre els anys 1990 i 1998. Es troba informació detallada de la metodologia de l'IEFC a Gràcia *et al.* (2004, volum de mètodes). Es van mostrejar 10.644 parcel·les forestals, a raó d'una parcel·la per cada 100 ha. de superfície forestal arbrada on, entre altres variables, es va mesurar per primer cop de manera extensiva la biomassa de branques i fulles. A més a més, es van mesurar el diàmetre normal (DN), l'alçada (H) i el coeficient de forma (Cf) del tronc de diferents arbres seleccionats a cada parcel·la. Paral·lelament, a l'IEFC també es van mesurar la densitat de la fusta i el contingut de carboni de les diferents espècies. Aquestes mesures van permetre establir, per a totes les espècies de Catalunya, les equacions que expressen la biomassa aèria total (BAT) en funció del diàmetre normal (DN) i l'alçada (H) dels arbres:

$$BAT = a \cdot DN^b \cdot H^c$$

Els treballs de camp del segon Inventari Forestal Nacional (IFN2) a Catalunya es van dur a terme entre els anys 1989 i 1990. El tercer (IFN3, Villacusa i Díaz, 1998, Villanueva 2005) es va dur a terme entre els anys 2000 i 2001. El mostreig en ambdós casos consisteix en una xarxa sistemàtica de parcel·les permanents situades sobre terreny forestal arbrat a raó d'aproximadament una par-

cel·la per cada 100 ha de superfície forestal arbrada. A l'IFN3, es van mesurar 11.278 parcel·les a Catalunya, 9.968 de les quals són parcel·les amb peus majors, és a dir, de diàmetre normal de més de 7,5 cm. Atès que les parcel·les de mostreig de l'IFN són permanents, resulta possible repetir les mesures en successius inventaris. De les 11.278 parcel·les mesurades a l'IFN3, 8.726 havien estat mesurades a l'IFN2.

La superfície forestal arbrada prové del Mapa de Cobertes del Sòl (1993). Per a la comparació entre els dos inventaris la superfície forestal arbrada és directament la de l'any 1993, és a dir, 1.214 milions d'hectàrees. Per al càlcul del carboni acumulat la superfície està actualitzada a l'any 2001, restant la superfície forestal arbrada afectada per incendis ocorreguts entre els anys 1994 i 2000, i així la superfície forestal arbrada disminueix fins a 1.135 milions d'hectàrees.

Per calcular tant la biomassa com el carboni emmagatzemats al bosc s'ha utilitzat informació addicional d'estudis previs que es descriuen breument a continuació:

Montero *et al.* (2005) van mesurar arbres, d'un ampli rang de diàmetres, de les espècies més abundants a la península. Aquests arbres es van tallar, es van separar en fraccions (tronc, fulles, branques) i es va determinar la biomassa de cada fracció. Una submostra de cada fracció es va pesar en fresc i posteriorment en sec per tal d'estimar la biomassa en pes sec. Alguns d'aquests arbres també es van desenterrar de manera que es van pesar les arrels gruixudes. A partir d'aquesta informació es van generar les equacions potencials que relacionen el DN amb la biomassa aèria total (BAT):

$$1) \quad BAT = a \cdot DN^b$$

i amb la biomassa d'arrels (BST):

$$2) \quad BST = a' \cdot DN^{b'}$$

Posteriorment, amb aquesta informació es va determinar l'equació que permet estimar la biomassa subterrània de qualsevol arbre, si es coneix la seva biomassa aèria, molt més fàcil de determinar:

$$3) \quad BST = a \cdot BAT^{-b}$$

on la biomassa subterrània s'estima com a proporció de la biomassa aèria.

Sempre que ha resultat possible s'han utilitzat les equacions de biomassa obtingudes a l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya perquè es tracta d'un mostreig extensiu centrat a Catalunya que recull l'àmplia varietat de condicions geogràfiques, topogràfiques i estructurals dels nostres boscos. La biomassa subterrània que no va resultar possible de mesurar als treballs de camp de l'IEFC s'ha estimat mitjançant les equacions de Montero *et al.* (2005).

El sotabosc és un component, sovint quantitativament important, de la biomassa del bosc mediterrani. Armand *et al.* (1993) van mesurar l'alçada (H) i l'àrea ocupada per la capçada (A) de diferents individus d'espècies arbustives mediterrànies. Posteriorment van tallar aquests individus, es van assecar a l'estufa, i se'n va determinar el pes sec. Aquesta informació va permetre obtenir, per a cada espècie, una equació que estima la biomassa aèria (BA) en funció del volum aparent, entenent per volum aparent el producte de l'alçada per la projecció de la capçada de la planta o àrea ocupada ($V_{ap} = A \cdot H$).

$$4) \quad BA = a \cdot (A \cdot H)^b$$

El volum amb escorça (VAE) de cada arbre mesurat de, al menys, 7,5 cm de diàmetre s'ha obtingut aplicant l'equació:

$$5) \quad VAE = \pi \cdot (DN/2)^2 \cdot H \cdot C_f$$

on

- DN és el diàmetre normal del peu
- H, és l'alçada total del peu
- C_f : és el coeficient de forma del tronc.

S'estima la biomassa aèria de cada arbre mesurat a cada parcel·la de mostreig aplicant l'equació 1, i la biomassa subterrània aplicant la 4. El contingut de carboni s'obté multiplicant la biomassa pel valor de la concentració de carboni de cada espècie, valor sempre molt proper al 50%.

La biomassa aèria dels arbres menors de cada espècie (els que tenen un diàmetre normal comprès entre 2,5 i 7,5 cm) s'obté aplicant la mateixa equació biparamètrica utilitzada en el càlcul del

Espècie principal	Volum amb escorça (m³)		Canvi en el volum amb escorça (m³/any)			Nre. de parcel·les
	IFN2 (1989-90)	IFN3 (2000-01)	Mortalitat	Aprofitaments o pèrdues per pertorbacions	Creixement net	
<i>Pinus sylvestris</i>	17.045.967	23.658.865	44.796	145.444	563.022	1.506
<i>Pinus halepensis</i>	9.037.806	13.197.661	50.854	111.867	358.578	1.951
<i>Quercus ilex</i>	7.079.226	10.061.616	19.754	76.569	252.562	1.362
<i>Pinus uncinata</i>	6.372.243	8.124.309	32.654	14.621	147.084	438
Roures	4.819.152	6.544.426	13.928	47.662	146.975	687
<i>Pinus nigra</i>	8.620.440	10.212.521	43.781	179.453	130.041	1.118
<i>Fagus sylvatica</i>	3.886.807	5.229.787	10.574	31.954	114.226	200
Altres planifolis	2.544.989	3.733.806	15.859	41.076	99.086	319
<i>Abies alba</i>	2.962.048	3.722.258	17.388	4.688	63.282	83
<i>Pinus pinea</i>	2.570.375	3.299.589	6.294	29.361	63.078	291
<i>Quercus suber</i>	3.761.185	4.444.646	7.689	53.284	56.631	526
<i>Pinus pinaster</i>	1.064.864	1.734.434	2.238	21.369	55.920	127
<i>Castanea sativa</i>	575.219	968.905	4.238	13.038	32.558	70
Altres coníferes	330.164	688.028	2.293	4.232	30.124	35
<i>Pinus radiata</i>	177.106	246.583	0	7.301	5.936	13
Catalunya	70.847.590	95.867.435	272.339	781.920	2.119.104	8.726

Taula 1. Volum amb escorça i components del canvi al segon i al tercer inventari forestal nacional (IFN2, IFN3).

carboni dels arbres majors (equació 1). El valor individual de biomassa aèria es multiplica pel nombre d'arbres per obtenir els valors per hectàrea. Finalment, es multiplica per la concentració de carboni corresponent a l'espècie. La biomassa de sotabosc és la suma del matollar i del peus menors.

Per estimar el carboni acumulat al sotabosc es calcula, per a cada espècie llenyosa present al matollar, el volum aparent ocupat multiplicant el recobriment per la seva alçada mitjana. Al resultat obtingut se li aplica l'equació 5 per obtenir el valor de biomassa. La suma dels valors de totes les espècies presents a la parcel·la es divideix per 2 (el 50% de la biomassa és carboni) per expressar-ho en unitats de carboni.

A la taula 2 es mostren els valors del volum amb escorça (m³), la biomassa i el carboni acumulat al bosc (Mg), tant a la part aèria com subterrània dels arbres i el carboni del sotabosc, desglossant la informació per espècies d'acord amb les dades de l'IFN3 (2000-01). Als boscos s'hi acumulen gairebé 95 milions de m³ de fusta (volum de tronc amb escorça) que traduït a bio-

massa, incorporant la biomassa de les branques i la biomassa de les arrels, s'apropa a 97,5 milions de tones, un 70% de les quals és la part aèria (tronc, branques i fulles) i un 30% és subterrani (arrels gruixudes). Traduït a carboni, significa que els boscos de Catalunya n'acumulen 49,2 milions de tones. El 21% del carboni acumulat correspon als alzinars, el 19% als boscos de pi roig, i el 13% als boscos de pi blanc. Entre les tres espècies sumen més del 50% del carboni total dels boscos de Catalunya. Al sotabosc (només la part aèria) s'hi acumulen 11,5 milions de tones de biomassa que equivalen a 5,6 Mt de C.

Abies alba, amb 106,6 tones de C/ha és l'espècie que concentra més carboni per unitat de superfície. Tot i això, el seu paper com a embornal de carboni resulta poc rellevant atesa l'escassa representació dels boscos d'aquesta espècie al país: aquesta espècie tan sols ocupa un 1,26% de la superfície forestal. A l'extrem oposat, els boscos de *Pinus halepensis* només acumulen 27,8 tones de C/ha. Ponderant la quantitat de carboni de cada espècie per la superfície que ocupa (figura 4) obtenim la quantitat mitjana de carboni present als

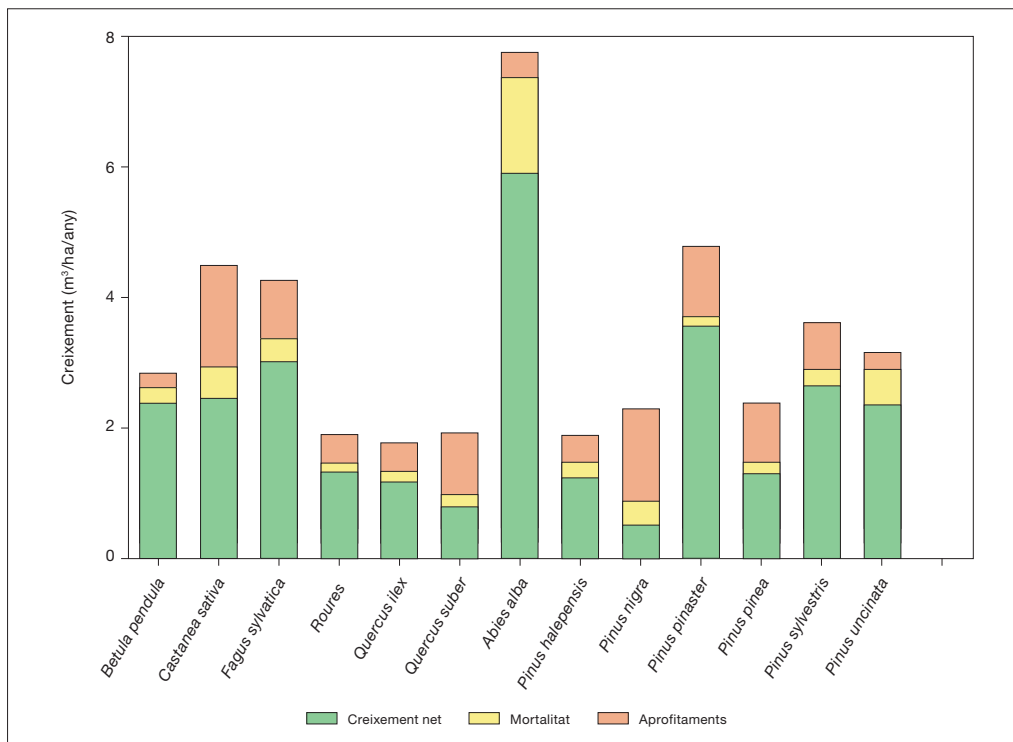


Figura 4. Creixement net, Mortalitat i aprofitaments dels boscos de Catalunya (incloses les pèrdues per perturbacions com ara allaus o incendis forestals, segons es desprèn de la comparació entre el segon i el tercer inventaris forestals nacionals. Noteu que *Pinus nigra* és l'única espècie en la qual mortalitat i aprofitaments són superiors al creixement net.

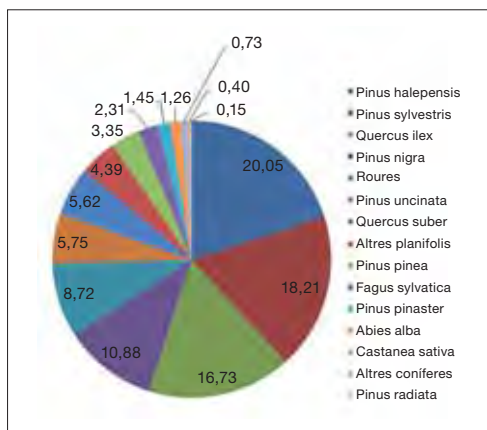


Figura 5. El bosc a Catalunya ocupa una superfície total d'1.134.972 hectàrees, que representen aproximadament un terç de la superfície total del país. L'espècie més abundant és *Pinus halepensis*, que ocupa el 20,05% de la superfície forestal, seguit de *Pinus sylvestris* (18,21%) i *Quercus ilex* (16,73%). Les tres espècies més abundants ocupen, en conjunt, el 55% de la superfície forestal de Catalunya.

boscos de Catalunya, que és de 43,35 tones de C/ha. Tenint en compte que la superfície forestal de Catalunya és d'1.134.972 hectàrees, els boscos de Catalunya acumulen, en conjunt, 49,2 Mt de C. La distribució per comarques del carboni total (Mg) acumulat als boscos de Catalunya, tal i com queda reflectida a la figura 8 esquerra evidencia que existeix una marcada diferència entre el carboni acumulat a les comarques de la meitat nord de Catalunya i l'acumulat a la meitat sud i terres de l'interior, reflectint el paper determinant de l'aigua en el control dels processos de fixació i acumulació de carboni als ecosistemes forestals, tal i com hem descrit prèviament.

Ara bé, aquest carboni que trobem acumulat als boscos de Catalunya és el resultat de la producció neta acumulada al llarg dels anys, que ens informa del carboni que retorna a l'atmosfera quan es destrueix totalment un bosc, sigui per un foc forestal o per qualsevol altra causa,

Espècie principal	Superfície (ha)	VAE (m³)	Biomassa (Mg)				Carboni (Mg)				Augment VAE (m³/any)	Augment de carboni (Mg/any)			Nre. parcel·les
			Sotabosc	Arbòria aèria	Arbòria subterrània	Arbori total	Sotabosc	Arbòria aèria	Arbòria subterrània	Arbori total		Arbòria aèria	Arbòria subterrània	Arbori total	
<i>Abies alba</i>	14.350	3.964.060	63.139	2.520.651	559.487	3.080.138	30.900	1.244.361	285.929	1.530.290	94.159	30.146	7.097	37.243	121
<i>Castanea sativa</i>	8.245	866.629	77.648	664.369	436.270	1.100.639	37.776	321.324	235.669	556.993	36.729	13.852	10.369	24.221	71
<i>Fagus sylvatica</i>	26.212	4.632.862	165.395	3.388.416	1.791.649	5.180.065	80.184	1.648.331	962.885	2.611.216	112.880	40.670	24.276	64.946	226
<i>Pinus halepensis</i>	227.535	13.520.450	2.769.613	9.418.173	3.286.012	12.704.184	1.375.654	4.662.739	1.657.689	6.320.428	460.998	161.033	56.205	217.238	1.969
<i>Pinus nigra</i>	123.480	9.947.018	1.015.859	6.675.311	1.976.026	8.651.336	503.849	3.362.465	1.042.774	4.405.239	364.691	124.370	38.646	163.016	1.112
<i>Pinus pinaster</i>	16.451	1.682.986	270.744	1.079.868	343.072	1.422.940	134.188	544.811	182.534	727.345	95.177	31.749	10.655	42.404	143
<i>Pinus pinea</i>	38.048	3.213.703	423.101	2.251.663	641.280	2.892.942	209.047	1.127.662	340.664	1.468.326	98.637	35.306	10.554	45.859	324
<i>Pinus radiata</i>	1.656	365.081	17.282	217.063	63.041	280.104	8.528	107.743	34.511	142.254	21.578	6.695	2.274	8.969	15
<i>Pinus sylvestris</i>	206.635	22.873.364	1.524.809	14.399.509	4.162.081	18.561.590	751.111	7.242.801	2.050.717	9.293.518	760.567	245.634	69.213	314.847	1.824
<i>Pinus uncinata</i>	65.273	8.075.189	173.256	5.056.642	1.395.926	6.452.568	86.508	2.541.849	622.313	3.164.161	188.758	61.188	14.478	75.667	571
<i>Quercus ilex</i>	189.874	9.944.812	2.265.834	11.111.662	8.814.376	19.926.038	1.109.441	5.306.356	5.089.927	10.396.283	249.468	133.618	129.317	262.936	1.626
<i>Quercus suber</i>	63.809	3.992.989	1.165.427	2.882.452	1.239.911	4.122.363	577.005	1.377.120	685.927	2.063.047	96.033	33.422	16.499	49.921	593
Roures	99.009	6.404.260	986.624	5.591.903	2.257.137	7.849.040	483.186	2.706.474	1.214.408	3.920.881	174.978	74.330	33.854	108.184	847
Altres coníferes	4.519	767.064	27.033	403.646	167.894	571.541	13.419	202.534	90.136	292.671	48.195	13.239	6.053	19.293	40
Altres planifolis	49.874	4.284.411	501.994	2.999.127	1.627.074	4.626.200	245.313	1.447.320	858.686	2.306.006	172.106	57.313	33.278	90.591	486
Catalunya	1.134.972	94.534.879	11.447.757	68.660.454	28.761.236	97.421.690	5.646.110	33.843.890	15.354.767	49.198.657	2.974.953	1.062.566	462.768	1.525.334	9.968

Taula 2. Superfície forestal, volum amb escorça, biomassa i carboni acumulat als arbres (part aèria i subterrània) i al sotabosc (només part aèria) i augments anuals a l'estrat arbori dels boscos de Catalunya en funció de l'espècie dominant.

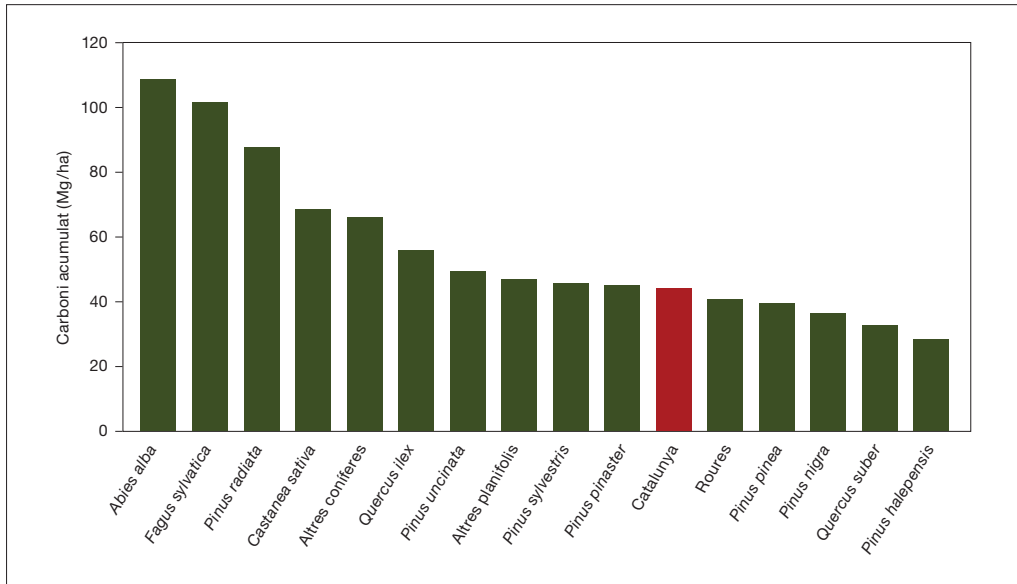


Figura 6. Carboni acumulat per unitat de superfície als arbres dels boscos de Catalunya.

però no ens diu res de la capacitat dels nostres boscos per absorbir i fixar carboni en cada moment. O sigui que per respondre a la pregunta *quin és el balanç de carboni dels nostres boscos?* o, dit d'una altra manera, *quina és la capacitat d'embornal dels boscos de Catalunya*, haurem de recórrer a una anàlisi més detallada del ritme de l'augment anual de la biomassa, tant l'aèria com la subterrània, i el seu equivalent en termes de carboni.

5.1.3. Increment anual de la biomassa aèria i subterrània i del carboni fixat

Tradicionalment, l'augment anual de la biomassa dels arbres s'estima a partir de l'augment anual del volum que es pot determinar, ja sigui analitzant els anells de creixement o comparant les dades de dos inventaris forestals successius com ara l'IFN2 i l'IFN3 que, com ja hem descrit, es realitzen partint de parcel·les permanents. Per avaluar el potencial d'embornal dels nostres boscos hem calculat l'augment anual de volum del tronc com la diferència del volum amb escorça (VAE) entre l'IFN3 i l'IFN2 dividit per l'interval de temps transcorregut entre els dos mostrejos. Aquestes dades bàsiques s'han de corregir per comptabilitzar l'augment que aporten els arbres

incorporats a la població durant el temps transcorregut entre inventaris. A més a més, cal considerar la quantitat que s'extreu en els aprofitaments de fusta i llenya. Es pot determinar comparant arbre a arbre les parcel·les mostrejades als dos inventaris. D'aquesta manera es determina quants arbres han sobreviscut i han continuat creixent; quants arbres s'han incorporat de nou a la població, quants han mort i, finalment, quants arbres han desaparegut fruit d'algun aprofitament o aclarida, o fruit d'alguna pertorbació com allaus o focs forestals. Fent la diferència entre els valors dels dos inventaris forestals i dividint pel temps transcorregut entre ambdós s'obté el balanç net a cada parcel·la.

Com ja hem vist a la taula 1, des del període 1989-90 al 2000-01 el volum de fusta al bosc (volum amb escorça) ha augmentat un 35%, fet que representa un augment mitjà (creixement net) de 2,12 milions de m³/any. De mitjana, la mortalitat durant aquest període ha estat de 272.000 m³/any, i els aprofitaments de 782.000 m³/any. En total, l'augment del volum de fusta al llarg del període ha estat de 3,17 milions m³/any. Les tres espècies que han tingut un creixement net més important en valor absolut han estat *Pinus sylvestris*, amb 563.000 m³ /any, seguida de *Pinus halepen-*

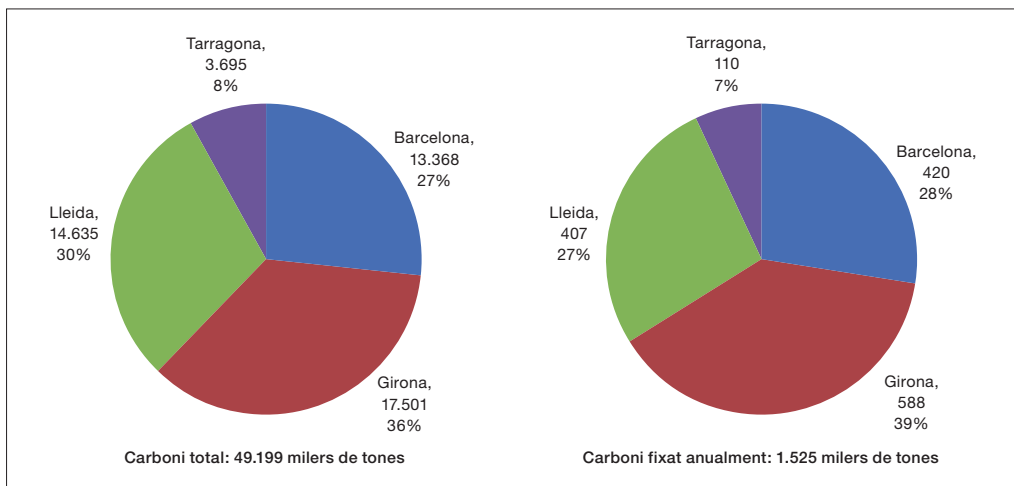


Figura 7. Carboni acumulat als arbres dels boscos de cadascuna de les quatre províncies de Catalunya (esquerra) i carboni fixat anualment (dreta). Valors en milers de tones i percentatges de cada província respecte del total de Catalunya.

sis, amb 359.000 m³/any i *Quercus ilex*, amb 253.000 m³/any; entre les 3 sumen el 55,4% del total. *Pinus nigra*, amb 179.000 m³/any, és l'espècie que ha estat sotmesa a més aprofitaments durant aquest període, una dada enganyosa ja que en bona part està reflectint els efectes dels incendis dels anys 1994 i 1998, que van cremar grans

extensions on aquesta espècie era dominant. La segueixen *Pinus sylvestris*, amb 145.000 m³/any, i *Pinus halepensis*, amb 112.000 m³/any. Entre les 3 sumen el 56% del total dels aprofitaments del bosc a Catalunya. Dels 272.000 m³ que hem estimat com a mortalitat anual, 51.000 corresponen a *Pinus halepensis*, 45.000 a *Pinus sylvestris*,

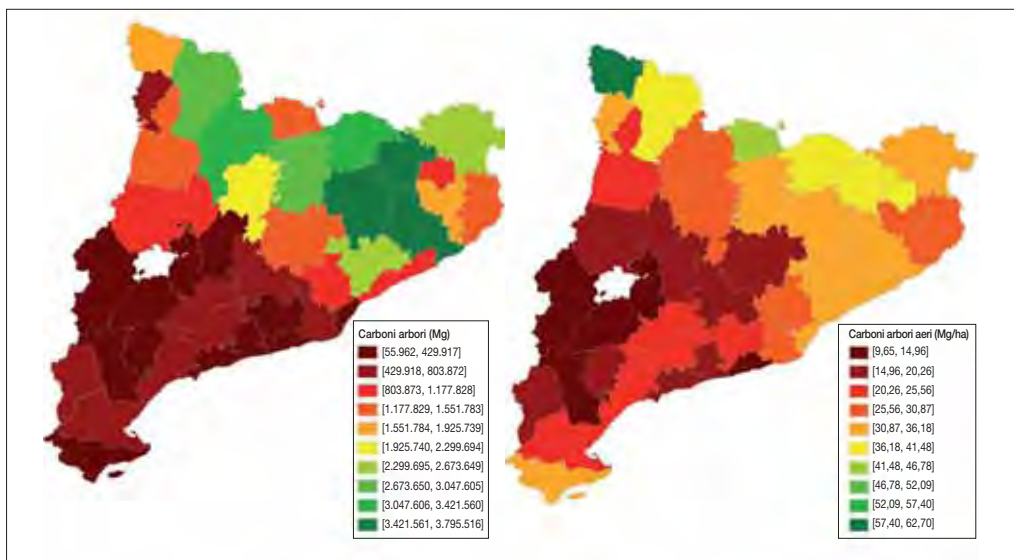


Figura 8. Distribució per comarques del carboni total (Mg) acumulat als arbres de totes les espècies (esquerra) i quantitat de carboni per hectàrea acumulat als arbres (dreta). En ambdós casos hi ha una marcada diferència entre el carboni acumulat a les comarques de la meitat nord de Catalunya i l'acumulat a la meitat sud, el que posa de manifest el paper determinant de la disponibilitat hídrica en el control dels processos de fixació i acumulació de carboni als ecosistemes forestals.

Província	Grups funcionals	Superfície (ha)	VAE (m³)	Biomassa (Mg)			Carboni (Mg)			Augment VAE (m³/any)	Augment de carboni (Mg/any)			Nre parcel·les
				Aèria	Subterrània	Total	Aeri	Subterrani	Total		Aeri	Subterrani	Total	
Barcelona	Caducifoli	43.138	3.620.832	2.911.030	1.365.265	4.276.296	1.412.402	732.599	2.145.001	102.546	40.068	21.054	61.122	396
	Conífera	221.167	18.036.351	11.825.815	3.717.296	15.543.111	5909.136	1.883.886	7.793.022	645.794	214.657	67.144	281.801	1.958
	Esclerofil·le	62.818	3.762.557	3.856.741	2.761.940	6.618.681	1.843.668	1.586.212	3.429.880	83.640	41.271	35.563	76.834	518
Girona	Caducifoli	75.353	8.907.073	6.668.916	3.391.394	10.060.310	3.228.025	1.820.233	5.048.258	297.624	105.311	59.862	165.173	673
	Conífera	111.550	13.146.090	8.320.490	2.670.573	10.991.063	4.161.113	1.361.440	5.522.554	531.580	171.607	57.408	229.015	972
	Esclerofil·le	130.951	8.460.862	7.990.598	5.447.168	13.437.767	3.810.945	3.119.111	6.930.057	231.593	105.949	88.197	194.146	1.196
Lleida	Caducifoli	56.203	3.459.189	2.825.548	1.217.373	4.042.922	1.369.027	646.668	2.015.695	75.241	30.804	14.651	45.455	471
	Conífera	259.468	27.529.206	17.769.353	4.862.157	22.631.509	8.922.033	2.383.404	11.305.437	787.360	262.119	70.722	332.841	2.209
	Esclerofil·le	44.276	991.436	1.333.622	1.170.507	2.504.129	636.654	676.851	1.313.506	21.691	14.040	14.620	28.660	361
Tarragona	Caducifoli	3.153	163.040	133.132	67.825	200.956	64.708	36.029	100.738	5.638	2.188	1.161	3.350	30
	Conífera	108.855	5.794.952	4.208.719	1.392.007	5.600.725	2.095.379	706.111	2.801.489	174.764	64.070	21.512	85.582	1.009
	Esclerofil·le	18.040	663.291	816.491	697.731	1.514.222	390.799	402.221	793.020	17.483	10.483	10.873	21.356	175
Catalunya	Caducifoli	177.847	16.150.134	12.538.626	6.041.858	18.580.484	6.074.163	3.235.530	9.309.693	481.049	178.371	96.728	275.099	1.570
	Conífera	701.040	64.506.599	42.124.376	12.642.032	54.766.408	21.087.661	6.334.841	27.422.502	2.139.498	712.453	216.787	929.239	6.148
	Esclerofil·le	256.084	13.878.145	13.997.452	10.077.346	24.074.798	6.682.066	5.784.396	12.466.462	354.406	171.742	149.253	320.996	2.250

Taula 3. Superfície forestal, volum amb escorça, biomassa i carboni acumulat als arbres (part aèria i subterrània) i augments anuals a l'estrat arbori per grups funcionals i demarcacions.

i 44.000 a *Pinus nigra*; entre les tres sumen el 51% del total.

A la taula 3 es mostren els valors desglossats per les quatre demarcacions, separant els boscos de coníferes, caducifolis i escleròfil·les. En conjunt, aquesta biomassa dels boscos de Catalunya (figura 7) representa 49,2 Mt de C, el 36% de les quals (17,5 Mt) es localitzen a Girona, el 30% a Lleida (14,6 Mt), el 27% a Barcelona (13,4 Mt), i un 8% a Tarragona (3,7 Mt). Dels 49,2 Mt de C dels boscos de Catalunya, gairebé el 56% correspon a boscos de coníferes, un 25% a boscos d'escleròfil·les i un 19% a caducifolis. Dels 27,4 Mt de C dels boscos de coníferes, el 41% són a la demarcació de Lleida, el 29% a Barcelona, el 20% a Girona i finalment el 10% restant a Tarragona. El 54% dels boscos de caducifolis són a la demarcació de Girona, el 23% a Barcelona, el 21% a Lleida i només un 1% a Tarragona. El 56% dels boscos d'escleròfil·les es troben a la Demarcació de Girona, un altre 27% a Barcelona, un 11% a Lleida, i a Tarragona el 6% restant.

A la taula 4 es mostren els valors desglossats per comarques. Les comarques de la Garrotxa i d'Osona, amb 3,8 i 3,5 Mt de C, respectivament, són les que més carboni acumulen a la biomassa arbòria. Les quantitats de carboni acumulat a les comarques de la Selva, l'Alt Urgell i el Ripollès oscil·len entre 3,2 i 3,4 Mt de C. Un tercer grup el conformen les comarques de l'Alt Empordà, Berguedà, Pallars Sobirà i Vallès Oriental, amb valors que oscil·len entre els 2,5 i 2,8 Mt de C (figura 8). La comarca de la Selva és la que destaca més pel que fa als augments anuals de carboni de la biomassa arbòria, amb 134.000 tones anuals. Les comarques d'Osona i la Garrotxa, amb 111.000 i 110.000 tones, respectivament, ocupen també un lloc destacat. Altres comarques com l'Alt Urgell, el Berguedà i el Ripollès presenten augments al voltant de 100.000 tones anuals de carboni. La figura 8 representa la distribució comarcal del carboni acumulat als boscos de Catalunya. Existeix un marcat contrast entre les comarques de la meitat nord de Catalunya i les de la meitat sud, fet que posa de manifest l'acusat efecte de la disponibilitat hídrica en els processos d'absorció, fixació i retorn del CO₂ a l'atmosfera, tant als boscos com a la resta de

comunitats naturals, com ja hem comentat prèviament.

5.1.4. La contribució del sotabosc

Al carboni fixat anualment o acumulat als arbres cal afegir-hi el carboni del sotabosc que, en el cas del bosc mediterrani, pot arribar a representar-ne una fracció gens menyspreable, ja que s'aproxima al 10% del carboni total acumulat a la biomassa. En conjunt, el sotabosc a Catalunya contribueix amb 11,45 Mt de biomassa que, en termes de carboni, representen 5,65 Mt. La contribució del sotabosc de les pinedes de *Pinus halepensis* (1,38 Mt de C) i dels alzinars (*Quercus ilex*, 1,11 Mt de C) representa pràcticament la meitat del total. En conjunt, el carboni retintut a la biomassa dels arbres representa el 89,7% del total (68,8% d'aèria i 31,2% de subterrània), i la biomassa del sotabosc afegeix un 10,3% al carboni total acumulat als boscos (taula 2 i figura 9).

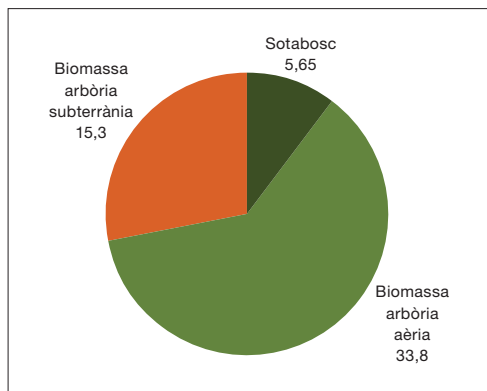


Figura 9. La biomassa dels boscos de Catalunya acumula, en conjunt, 54,8 Mt de C. Els arbres en retenen 49,2 Mt (el 89,7 del total) i el sotabosc el 10,3 restant. Del carboni retintut als arbres, 33,8 milions de tones (el 68,8%) es concentren a la biomassa aèria, i 15,3 milions de tones (el 31,2%) a la biomassa subterrània.

5.1.5. Carboni fixat anualment als boscos de Catalunya

Els boscos de Catalunya fixen anualment, de mitjana, 1,34 tones de carboni/ha/any (figura 10). L'espècie que més carboni fixa és *Pinus radiata* (5,42 tones de C/ha/any) i la que menys

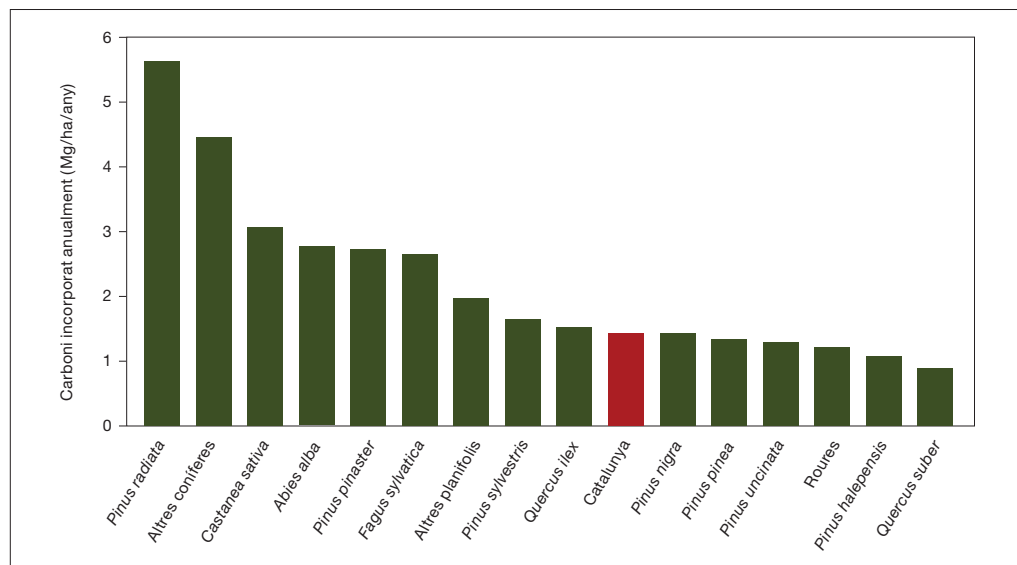


Figura 10. Carboni que fixen diverses espècies presents als boscos de Catalunya.

Quercus suber (0,78 tones de C/ha/any). En conjunt, els boscos de Catalunya fixen anualment 1,5 Mt de C.

5.1.6. Què representa el carboni fixat als arbres dels boscos?

La quantitat de carboni fixat anualment per una hectàrea de bosc, 1.34 tones de C/ha/any equival a 4,93 tones de CO₂, valor que aproximadament equival a la meitat de les emissions anuals mitjanes de cada habitant de Catalunya que resulten ser molt properes a 10 tones de CO₂ per habitant i any. Aquesta xifra ens permet comprendre millor la importància relativa dels boscos com a embornals de carboni. Donada la població de Catalunya d'uns 7 milions d'habitants, es compren que els boscos estan molt lluny de tenir capacitat per compensar les emissions de CO₂ de la població de Catalunya. En efecte, per compensar les seves emissions, els 7 milions d'habitants requereixen una superfície forestal de aproximadament 14,2 milions d'hectàrees de bosc, valor 12,5 vegades superior als 1.13 milions d'hectàrees de bosc present a Catalunya. Dit d'un altra manera, la fixació de carboni dels boscos catalans només serveix per compensar el 8% de les emissions anuals de CO₂ de Catalunya.

5.1.7. El futur dels boscos de Catalunya com a embornals de CO₂

Peñuelas i Boada (2003) han comparat la distribució de la vegetació actual del Montseny (Barcelona) amb la distribució de 1945 i han pogut apreciar una progressiva substitució dels ecosistemes temperats (fagedes) per altres de més mediterranis (alzinars). Les fagedes s'han desplaçat en altitud uns 70 m fins arribar a les altituds culminals (1.600-1.700 m). A altituds mitjanes les fagedes es veuen progressivament reemplaçades per les alzines, de manera que aquesta espècie es troba ja a altituds tan inesperades com els 1.400 m. Les condicions progressivament més càlides i àrides, junt amb els canvis d'usos del sòl entre els quals cal destacar l'abandonament de la gestió tradicional i la pràctica desaparició dels incendis associats a la ramaderia (actualment prohibits al Montseny), expliquen aquests canvis en un clar exemple paradigmàtic de com interactuen els diferents components del canvi global.

L'augment de la temperatura es reflecteix clarament en la resposta fenològica de les plantes, ja que la fenologia es particularment sensible a les variacions de temperatura. El problema és rellevant per les implicacions que se'n deriven tant pel que fa als diferents processos associats a

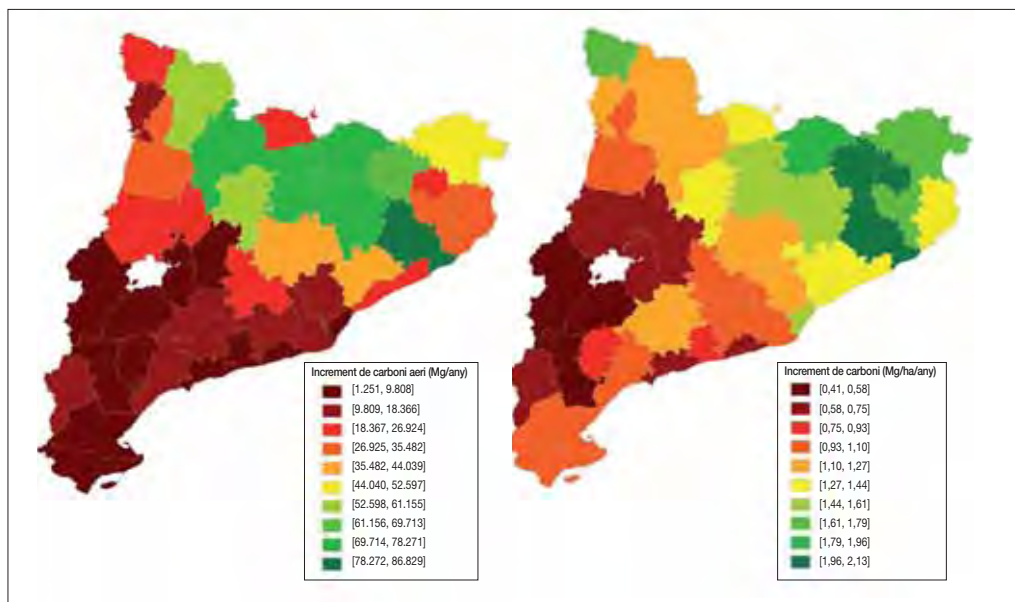


Figura 11. Augment anual de carboni (Mg) als arbres (totes les espècies) (esquerra) i augment anual per hectàrea (dreta) a les comarques de Catalunya.

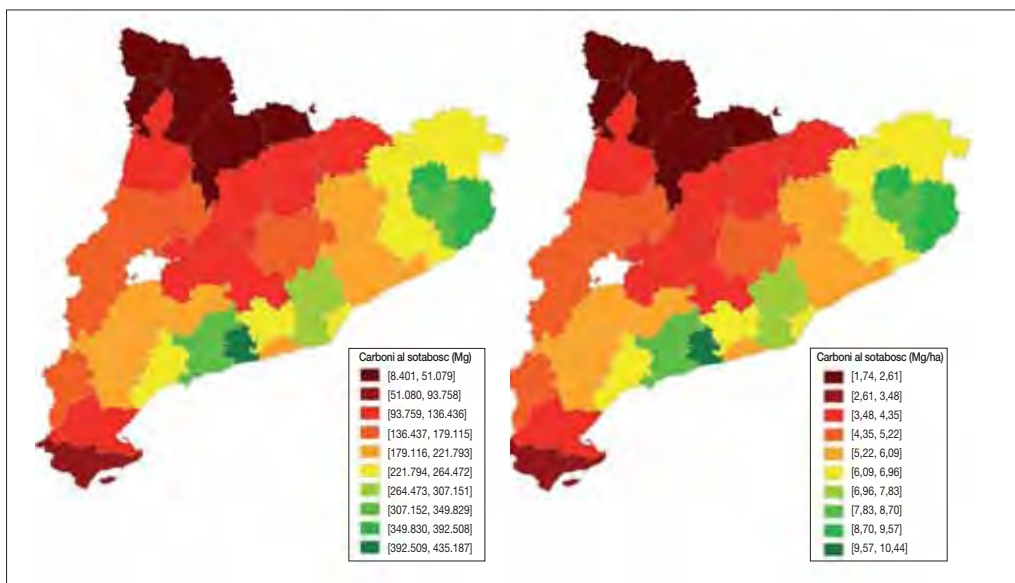


Figura 12. Carboni total (Mg) acumulat (totes les espècies, esquerra) i quantitat de carboni per hectàrea (dreta) present al sotabosc dels boscos de Catalunya.

l'absorció, fixació i retorn del CO_2 a l'atmosfera per part de la vegetació, com per la supervivència de moltes masses forestals. El problema pot resultar encara més crític en el cas del Mediterrani,

on com hem vist, l'absorció de carboni està limitada per la disponibilitat hídrica. Una vegetació activa durant un període de temps cada cop més llarg, a conseqüència d'una elongació del període

Comarca	Superfície	VAE	Biomassa (Mg)			Carboni (Mg)			Augment VAE	Augment de carboni (Mg/ha)			Nre. parcel·les
	(ha)		Aèria	Subterrània	Total	Aeri	Subterrani	Total		Aeri	Subterrani	Total	
Alt Camp	12.494	812.816	627.610	279.140	906.750	309.371	148.319	457.690	26.121	9.922	4.580	14.501	117
Alt Empordà	46.669	3.767.978	3.077.233	1.752.293	4.829.526	1.486.614	976.872	2.463.486	127.333	49.555	31.220	807.85	421
Alt Penedès	13.963	872.244	300.874	206.797	872.244	300.874	104.565	405.440	32.562	11.350	3.828	15.177	97
Alt Urgell	83.528	7.627.097	5.082.413	1.605.991	6.688.404	2.549.245	811.222	3.360.467	223.491	76.220	23.523	99.743	765
Alta Ribagorça	13.561	1.381.000	943.960	293.848	1.237.808	469.625	145.452	615.077	35.358	12.173	3.649	15.822	101
Anoia	26.717	1.348.657	997.538	339.579	1.337.116	495.186	174.173	669.359	52.235	19.347	6.574	25.921	225
Bages	51.946	2.822.963	1.992.362	706.288	2.698.650	990.826	366.770	1.357.596	121.652	42.572	14.440	57.012	500
Baix Camp	15.921	800.383	677.641	345.315	1.022.956	333.037	188.691	521.728	25.801	10.610	5.687	16.297	163
Baix Ebre	12.835	905.793	651.556	220.358	871.914	325.626	115.268	440.894	24.591	8.922	3.054	11.975	100
Baix Empordà	32.802	2.587.095	1.829.877	739.834	2.569.711	894.984	400.125	1.295.109	82.974	29.129	12.630	41.759	273
Baix Llobregat	12.907	1.020.085	676.113	257.730	933.843	333.528	132.703	466.232	30.175	9.967	3.850	13.818	84
Baix Penedès	4.284	241.262	168.646	53.985	222.631	83.667	26.307	109.973	8.136	2.871	910	3.781	22
Barcelonès	1.314	109.678	83.896	42.172	126.068	40.947	23.090	64.037	3.255	1.251	674	1.925	12
Berguedà	60.932	6.405.834	4.149.964	1.392.234	5.542.231	2.074.245	707.212	2.781.457	218.457	71.177	23.396	94.573	606
Cerdanya	20.831	3.147.139	1.907.493	532.601	2.440.093	957.887	246.083	1.203.970	74.961	23.587	6.043	29.630	184
Conca de Barberà	18.158	1.120.890	919.870	451.601	1.371.471	452.063	244.830	696.893	34.276	13.756	7.055	20.811	169
Garraf	3.485	131.902	91.255	27.732	118.986	45.316	13.403	58.719	4.717	1.722	507	2.229	24
Garrigues	14.031	444.673	368.087	133.538	501.625	181.714	67.171	248.885	13.215	5.562	2.008	7.570	114
Garrotxa	54.599	5.209.038	4.576.118	2.827.146	7.403.264	2.206.738	1.588.778	3.795.516	152.223	64.351	46.198	110.549	496
Gironès	33.575	2.620.223	2.008.170	1.088.796	3.046.966	975.696	578.255	1.553.952	98.091	35.361	19.204	54.565	293
Maresme	21.149	1.864.062	1.493.930	684.263	2.178.193	730.915	381.733	1.112.648	51.107	19.851	9.536	29.387	158
Montsià	5.258	508.780	349.979	121.023	471.002	175.439	64.246	239.685	11.472	4.030	1.564	5.594	57
Noguera	41.407	1.555.961	1.320.913	649.416	1.970.329	357.925	100.589	458.510	10.084	20.628	10.057	30.684	301
Osona	73.155	6.178.432	4.782.485	2.240.133	7.022.618	2.340.023	1.215.992	3.556.015	203.962	74.683	36.514	111.196	654
Pallars Jussà	41.523	2.591.904	2.087.093	872.959	2.960.052	1.028.233	468.522	1.496.755	77.114	29.611	11.885	41.497	323
Pallars Sobirà	57.163	6.576.687	4.321.560	1.311.888	5.633.448	2.156.484	646.268	2.802.752	164.106	54.982	16.237	71.219	522
Pla de l'Estany	13.438	1.562.601	1.100.764	558.808	1.659.572	537.446	305.948	843.394	56.309	18.709	9.888	28.597	122
Priorat	16.758	597.226	517.478	260.776	778.254	254.150	141.447	395.597	19.760	8.377	4.405	12.783	137
Ribera d'Ebre	19.268	564.739	442.619	152.180	594.799	218.910	75.881	294.791	17.487	6.875	2.354	9.229	197
Ripollès	56.702	6.811.099	4.586.220	1.746.057	6.332.277	2.271.053	897.054	3.168.108	230.571	77.300	29.248	106.548	487
Segarra	9.687	435.122	318.678	113.885	432.563	158.637	60.420	219.058	14.416	5.259	1.861	7.121	55
Segrià	6.324	172.877	123.430	39.057	162.488	61.009	18.926	79.935	5.349	1.971	606	2.577	51
Selva	66.209	5.965.028	4.470.036	2.291.935	6.761.971	2.169.156	1.266.326	3.435.481	248.283	86.829	47.102	133.932	625
Solsonès	52.453	4.616.728	3.180.234	1.018.304	4.198.538	1.595.386	533.627	2.129.013	157.809	54.626	17.421	72.046	473
Tarragonès	3.045	162.382	107.500	32.655	140.155	53.359	15.801	69.159	4.545	1.525	448	1.973	18
Terra Alta	22.025	907.012	695.443	240.530	935.973	345.263	123.571	468.835	25.696	9.854	3.490	13.344	234
Urgell	3.068	101.309	82.303	30.488	112.791	40.596	15.366	55.962	3.278	1.374	509	1.883	16
Val d'Aran	20.299	3.955.181	2.580.234	755.033	3.335.267	1.272.775	384.793	1.657.558	79.820	25.902	7.503	33.406	169
Valles Occidental	23.710	1.909.069	1.374.995	615.678	1.990.673	675.264	329.903	1.005.167	51.138	18.178	8.622	26.800	216
Valles Oriental	47.777	4.111.931	3.288.005	1.779.190	5.067.195	1.602.361	991.740	2.594.101	112.518	42.588	24.489	67.077	387
Catalunya	1.134.972	94.534.879	68.660.454	28.761.236	97.421.690	33.843.890	15.354.767	49.198.657	2.974.953	1.062.566	462.768	1.525.334	9.968

Taula 4. Distribució comarcal de la superfície forestal, volum amb escorça, biomassa i carboni acumulat als arbres (part aèria i subterrània) i augments anuals a l'estrat arbori.

vegetatiu durant les properes dècades, implica una major demanda hídrica per part dels boscos. Més demanda hídrica, en un ambient que es preveu més sec, amb menys precipitacions, representarà unes condicions cada cop més desfavorables a la vegetació. Els resultats dels models fisiològics de simulació del creixement forestal indiquen que és previsible que aquestes condicions desfavorables es puguin traduir en reducció de les taxes de fixació de carboni (al haver-hi menys aigua disponible) i un augment de les taxes de respiració (derivades de l'augment de la temperatura) el que ha de tenir com a conseqüència una reducció de l'efecte d'embornal dels nostres boscos. Cal tenir en compte les variacions en la freqüència i intensitat de les glaçades tardanes i primerenques, que podran experimentar un augment interactuant amb la fenologia i l'estat vegetatiu de les espècies vegetals (EEA, 2008).

D'aquí que resulti interessant explorar alguns trets del futur dels nostres boscos en un context de canvi climàtic. Els canvis que pugui experimentar el període vegetatiu resulten particularment importants per entendre el comportament de la vegetació en les dècades futures. Durant les darreres dècades són cada cop més abundants les observacions basades en la Xarxa Internacional de Jardins Botànics Fenològics creada al 1957 per Schnelle. Aquesta xarxa porta a terme observacions sistemàtiques de les dates en què tenen lloc les diferents fases fenològiques de moltes espècies de plantes.

Es pot anticipar que un augment de la temperatura anticiparà el començament i endarrerirà el final, el que provocarà un augment de la durada del període d'activitat de les plantes. Tant les dates de començament com de final del període vegetatiu estan molt estretament controlades per la temperatura. Les fases fenològiques que tenen lloc a la primavera, com la brotada de les fulles, o l'activació dels borrons, resulten molt més sensibles a les variacions de temperatura que les fases que tenen lloc a la tardor, com la caiguda de la fulla en el cas dels caducifolis, que difereixen molt poc entre espècies.

Utilitzant les observacions de la Xarxa Internacional de Jardins Botànics Fenològics, Menzel i Fabian (1999) han posat de manifest que la brotada de la fulla i altres fases primaverals s'han

avançat a Europa una mitjana de 6,3 dies en el període de 1959-1996, o sigui, uns 0,21 dies/any de mitjana. Paral·lelament, les fases de tardor s'han allargat 4,5 dies durant el mateix període de temps o, el que és el mateix, 0,15 dies/any, d'on es dedueix que el període vegetatiu s'ha allargat 10,8 dies des dels anys 60 (figura 13). Ni totes les espècies responen de la mateixa manera ni els canvis observats es produeixen a totes les latituds amb la mateixa intensitat.

Aquesta elongació del període vegetatiu comporta una major capacitat de transpirar una quantitat suplementària d'aigua. En les condicions mediterrànies, en què l'aigua resulta avui per avui el factor més limitant per a la vegetació, i on tant els models com les observacions empíriques indiquen una reducció de la disponibilitat hídrica, el conflicte entre augment de la demanda d'aigua i disminució de la disponibilitat pot tenir com a conseqüència condicions localment difícils o impossibles de superar per part d'algunes espècies. La exploració d'aquestes condicions futures resulta complexa ja que, per una banda, les respostes no són lineals, i per l'altra, les interaccions entre diferents processos fisiològics compliquen enormement l'anàlisi.

Chmielewski y Rotzer (2002) i Chmielewski (1996) han analitzat les dades existents a Europa sobre les dates d'inici i final del període vegetatiu i altres variables fenològiques. Al conjunt de

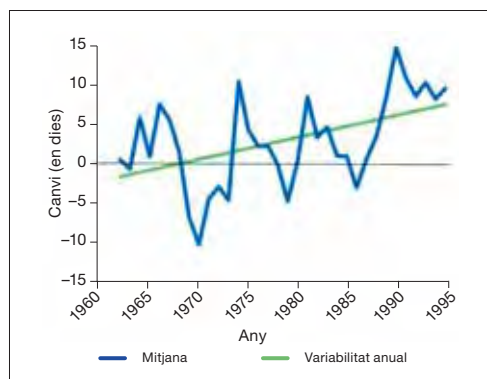


Figura 13. Observacions de la Xarxa Internacional de Jardins Botànics Fenològics d'Europa excepte França, la península ibèrica, Sud d'Itàlia i Grècia. D'acord amb les observacions, la durada del període vegetatiu a Europa mostra una clara tendència a augmentar.

Font: Menzel (2002) i Menzel i Fabian (1999).

jardins botànics de la Xarxa es va plantar un total de 23 espècies d'arbres reproduïts vegetativament. En un rang de 28 latituds des d'Escandinava fins a Macedònia, i en un rang de 37 longituds, des d'Irlanda fins a Finlàndia al Nord, i des de Portugal a Macedònia al Sud. Aquests autors han relacionat les fases fenològiques d'aquest conjunt d'espècies entre els anys 1961 a 1998 amb variables com l'altitud i la latitud de cada lloc, i han trobat una dependència molt estreta tal, i com caldria esperar atesa la dependència fenològica respecte de la temperatura i la dependència d'aquesta respecte de les coordenades geogràfiques.

A mida que ens desplacem de sud a nord, una distància de 100 km, el començament del període vegetatiu s'enredereix 2,3 dies. A més a més, un augment de 100 m en altitud, es tradueix en un retard de 3,1 dies. A mida que ens desplacem cap a l'est, el gradient de continentalitat es tradueix en un retard del començament del període vegetatiu de 0,5 dies per cada 100 km. Segons aquestes relacions, el dia de l'any que correspon al moment inicial del període vegetatiu es pot formular així:

$$I_{pv} = 0.5 \cdot LON' + 2.3 \cdot LAT' + 3.1 \cdot ALT - 32.6$$

on la variable LON' és la longitud equivalent expressada com la distància del punt al meridià de Greenwich en centenars de quilòmetres (km/100), LAT' és la latitud equivalent expressada anàlogament com la distància del punt a l'Equador en centenars de quilòmetres, i ALT' és l'altitud equivalent expressada anàlogament en centenars de metres (m/100). Segons aquests autors podem escriure l'equació que defineix el final del període vegetatiu de manera anàloga a com hem definit el començament:

$$F_{pv} = 0.2 \cdot LON' - 0.1 \cdot LAT' - 1 \cdot ALT + 310.6$$

El final del període vegetatiu s'avança 0,1 dies a mida que ens desplacem de sud a nord una distància de 100 km. Un augment de 100 m en altitud es tradueix en un avançament d'un dia. A mida que ens desplacem cap a l'oest el gradient de continentalitat es tradueix en un avançament de 0,2 dies per cada 100 km de desplaçament o, el que és el mateix, si sumem els 0,5 dies de re-

Quadre 2. La resposta fenològica de la vegetació

La temperatura és la variable més estretament relacionada amb la fenologia dels arbres. Aquests actuen com a integradors de les condicions de temperatura que van experimentant. L'estat vegetatiu d'una espècie en un moment qualsevol de l'any és el resultat de la integració dels efectes de la temperatura fins a aquest moment.

L'estat vegetatiu V_d d'una espècie determinada, en un punt qualsevol, el dia de l'any d , ve donat per l'expressió

$$V_d = V_{d-1} + \Delta V_d$$

on ΔV_d representa l'efecte fenològic de la temperatura del dia d sobre l'espècie. Si la temperatura mitjana del dia d , en què la temperatura és t_d °C, el seu efecte sobre l'estat vegetatiu de l'arbre experimenta un canvi equivalent a

$$\Delta V_d = \frac{t_d - t_0}{t_1 - t_0} \cdot V_{d-1}$$

on t_0 i t_1 són les temperatures llindar a les quals la taxa fotosintètica de l'espècie assoleix els seus valors mínim i màxim respectivament. L'efecte de la temperatura t_d depèn, naturalment, del rang de temperatures ($t_0 - t_1$) a les quals l'espècie resulta sensible i de l'estat fenològic (V_{d-1}) assolit per la planta el dia $d-1$. El terme τ reflecteix la inèrcia temporal amb què l'espècie respon als canvis diaris de temperatura. Un cop s'assoleix un llindar determinat, específic de cada espècie, es desencadena la brotada de les fulles, i anàlogament les diferents fases fenològiques. L'inici de la caiguda de les fulles, en el cas dels caducifolis, ve igualment determinada per un valor llindar.

Partint d'una sèrie de temperatures diàries s'obté una funció d'estat vegetatiu com la que es mostra a la figura 2.1. En qualsevol moment de l'any, l'estat vegetatiu de l'espècie ve determinat pel valor de V_d . Si $V_d < 0$ l'activitat de la planta es nul·la. Els valors $0 \leq V_d < 1$, corresponen a les condicions de transició del repòs a l'activitat en primavera o de la activitat al repòs a la tardor. Quan $V_d \geq 1$, la planta es troba potencialment en plena activitat.

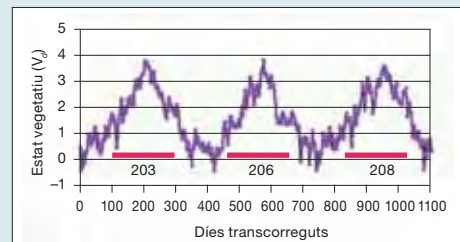


Figura 2.1. Evolució de l'activitat vegetativa de *Quercus ilex* entre els anys 1995 i 1997 a les muntanyes de Prades (Tarragona) calculada en base a les temperatures diàries de la regió. Les temperatures llindar resulten ser $t_0=6^\circ\text{C}$, $t_1=12^\circ\text{C}$ y $\tau=3$. Les bandes de color gris representen la durada del període vegetatiu de cada any, que va ser de 203, 206 i 208 dies, respectivament.

tard del començament als 0,2 dies d'avançament del final, resulta que el període vegetatiu s'escurça 0,7 dies per cada 100 km que ens desplaçem cap a l'est com a conseqüència del gradient de continentalitat.

Per les característiques físiques d'Europa, on el mar Mediterrani té un paper preponderant a latituds inferiors als 45 °, la presència del Mediterrani condiciona el gradient de continentalitat de manera que, en les zones properes a la costa, les diferències est-oest es manifesten, si ho fan, de manera més atenuada. A mida que ens desplaçem des de latituds de 45 ° N cap a latituds més baixes, el gradient de continentalitat s'atenua progressivament fins a desaparèixer per complert cap als 34 ° N. Per reflectir aquest efecte de la presència del Mediterrani, es pot introduir una correcció basada en observacions fenològiques que incorporem a les equacions de Rotzer i Chmielewski. D'aquesta manera, el començament del període vegetatiu a Europa es pot estimar com

$$I_{pv} = 0,5 \cdot LON' + 2,3 \cdot LAT' + 3,1 \cdot ALT - 32,6 - 0,045 \cdot LON' \cdot (54 - LAT')$$

i el dia que correspon al final del període vegetatiu, com

$$F_{pv} = -0,2 \cdot LON' - 0,1 \cdot LAT' - 1 \cdot ALT + 310,6 + 0,018 \cdot LON' \cdot (54 - LAT')$$

Aquestes correccions, que només s'apliquen a latituds inferiors als 45 ° N, introdueixen l'efecte d'assuaviment del clima per la presència del Mediterrani, i resulten particularment importants entre els 34 ° N i els 45 ° N que correspon a distàncies aproximades a l'Equador de 4.000 i 5.400 km. L'efecte de la longitud sobre el període vegetatiu és de 0,7 dies/100 de latitud N.

A una latitud de 34 ° N l'efecte d'assuaviment del clima per la presència del Mediterrani representa un allargament del període vegetatiu de 0,88 dies per cada 100 km de desplaçament cap a l'est. Aquest allargament del període vegetatiu per assuaviment del clima afecta particularment Itàlia, la regió dels Balcans, Grècia i Turquia. La figura 14 representa la distribució a Europa de les dates d'inici i final del període vegetatiu basada en les observacions fenològiques dels anys

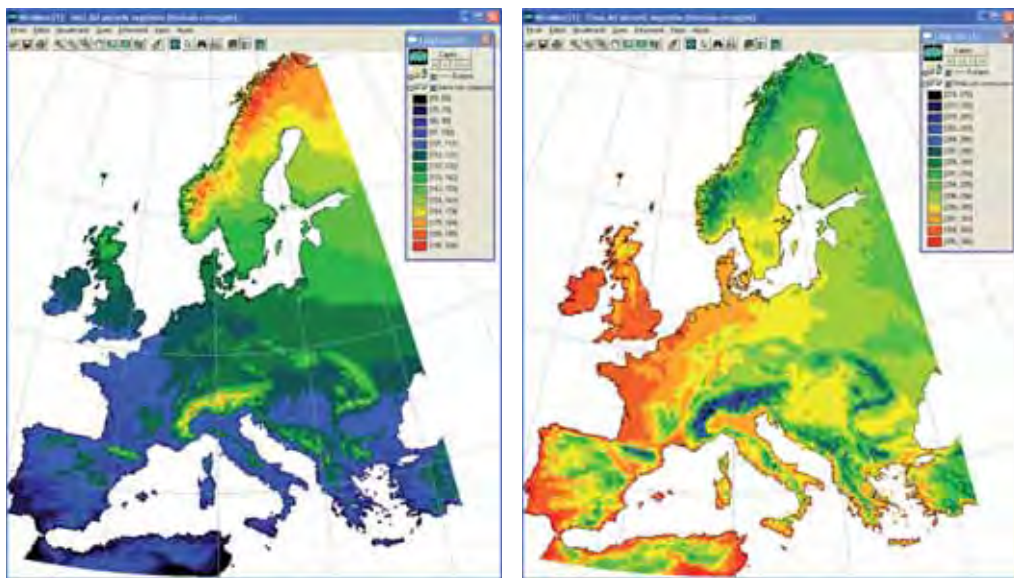


Figura 14. Distribució geogràfica de les dates de començament (esquerra), i final (dreta) del període d'activitat de la vegetació a Europa en el període de 1961 a 1998. Cartografia basada en les observacions de la Xarxa Internacional de Jardins Botànics Fenològics. Relacionant aquestes observacions amb la latitud, longitud i altitud de cada punt d'observació, resulta possible estimar les dates d'inici i final del període vegetatiu per a cada píxel. El model d'interpolació es va modificar i corregir per tal d'incloure-hi l'efecte de la presència del Mediterrani per a latituds inferiors als 45 ° N.

1961 a 1998 i interpolades d'acord amb les equacions 7 i 8 per a latituds superiors als 45° N i les equacions 9 i 10 per a latituds inferiors. En base a aquests resultats és possible relacionar el valor d'aquestes variables fenològiques en cada punt del continent amb els patrons de temperatura i precipitació del punt i elaborar un model simple que permeti explorar com variaran les dates d'inici i final del període vegetatiu en diferents escenaris futurs.

Amb la finalitat d'explorar els canvis potencials del període vegetatiu dels boscos d'Europa, i el seu efecte sobre el potencial d'embornal, hem utilitzat la base de dades elaborada en el marc del projecte ATEAM (*Advanced Terrestrial Ecosystems Analysis and Modelling*, EVK2-

2000-00075). El continent europeu queda cobert per un conjunt de píxels de $10' \times 10'$ (figura 15) que porten associada informació sobre la vegetació forestal present (tipus funcional de bosc i fracció de la superfície de ocupada pel bosc) així com els valors de les variables climàtiques corresponents a diferents escenaris climàtics.

Partint de la sèrie de temperatures diàries del període 1961-1998, s'ha simulat el creixement del bosc en cada píxel amb ajut del model de simulació del creixement forestal GOTILWA+ (*Growth of trees is limited by water*, Gracia et al. 1999, 2000), variant, en cada píxel, el valor de la temperatura llindar màxima t_1 fins a aconseguir un resultat de la simulació de les dates d'inici i

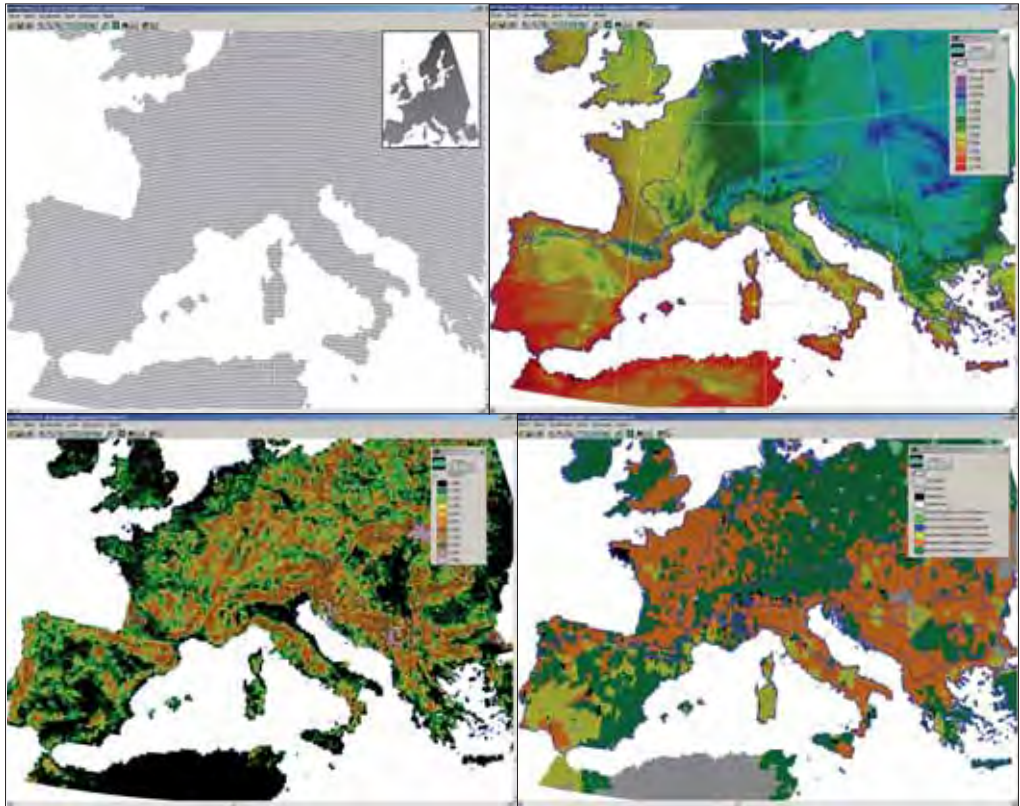


Figura 15. (A) Conjunt de píxels de $10' \times 10'$ que constitueixen la base de dades del projecte ATEAM (*Advanced Terrestrial Ecosystems Analysis and Modelling*) que hem utilitzat per explorar els canvis que pot experimentar el període vegetatiu de les espècies forestals presents a Europa. La figura B il·lustra, a títol d'exemple, la distribució de la temperatura mitjana del mes de gener. Per al càlcul s'han utilitzat les temperatures de cada dia de l'any, corresponents a cada píxel. A més a més de les coordenades de cada píxel, en el càlcul s'ha considerat la fracció de la superfície de cada píxel ocupada pel bosc (C) així com els tipus funcionals de bosc presents a cada píxel (D).

final del període vegetatiu comparables a les obtingudes aplicant les equacions 6 a 9. Per economia de càlcul, i atès que la temperatura llimdar mínima (t_0) i la inèrcia tèrmica resulten poc variables, en el procediment d'estimació del llimdar màxim hem fixat els valors de $t_0 = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $\tau=3$.

Obtinguda per aquest procediment la temperatura llimdar màxima, que ajusta la resposta fenològica de la vegetació als valors observats en el període 1961-1998, resulta possible simular el creixement del bosc amb el model GOTILWA+ en les condicions projectades per als escenaris climàtics futurs per tal de determinar com podrà variar la durada del període vegetatiu en el futur i explorar les possibles respostes dels boscos pel que fa referència als fluxos de carboni, al conflicte augment de temperatura *versus* disminució de la disponibilitat hídrica i, en definitiva, a la seva capacitat per actuar com a embornals de CO_2 .

Les dates d'inici i final del període vegetatiu entre els anys 1990 i 2000 a Catalunya es representen a la figura 16. Resulta evident que a mida que ens desplaçem de Sud a Nord el començament del període vegetatiu dels arbres es va retardant. Si al sud de Catalunya l'activitat pot

començar la darrera setmana de març o a principis del mes d'abril, al Pirineu no comença, de mitjana, fins ben iniciat el mes de maig. La figura 17 reflecteix que hi ha un cert retard en direcció est-oest de les dates d'inici de l'activitat vegetativa del boscos propers a la costa respecte dels situats més a l'interior.

Si a la franja costanera les dates d'inici corresponen majoritàriament a finals de març, a les comarques interiors aquest inici es retarda fins a la primera quinzena d'abril. Aquest patró es repeteix, poc o molt, al final del període vegetatiu, que comença abans al Pirineu segueix per les comarques de l'interior i finalment es manifesta en els boscos propers a la costa en un procés gradual que es manifesta al llarg de dues o tres setmanes.

Pel que fa a les projeccions futures, si es compara la durada del període vegetatiu de l'any 1990 amb les estimades per als anys 2020, 2050 i 2080 es veu clarament com el període vegetatiu comença a allargar-se pel sud i la zona costanera (2020), i aquest augment del període vegetatiu creix progressivament. Els resultats de les simulacions projecten una situació per a l'any 2080 amb augments d'entre un i dos mesos respecte de la situació de 1990. Si comparem la

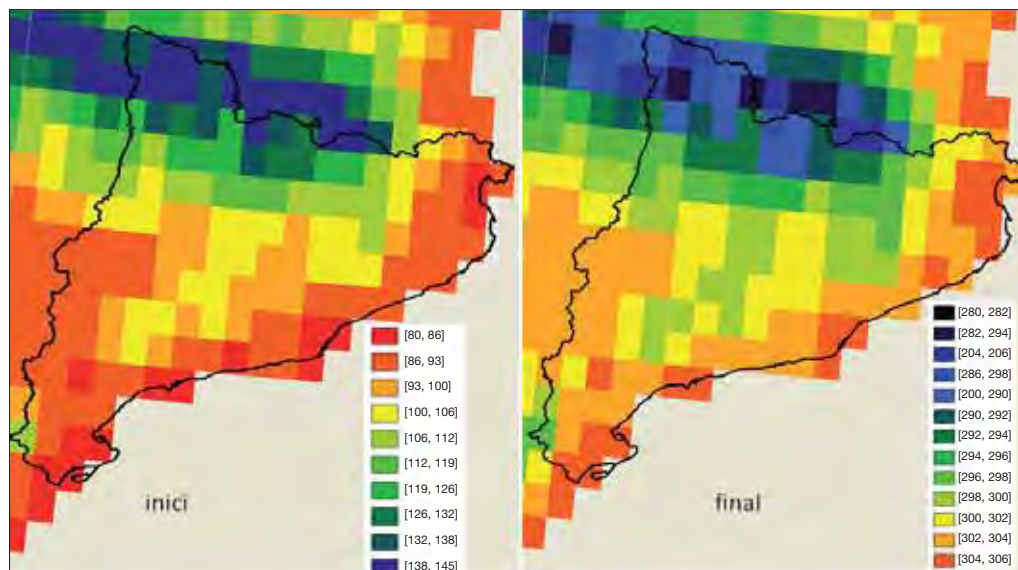


Figura 16. Inici i final del període vegetatiu a Catalunya calculat mitjançant la tècnica que es descriu al text.

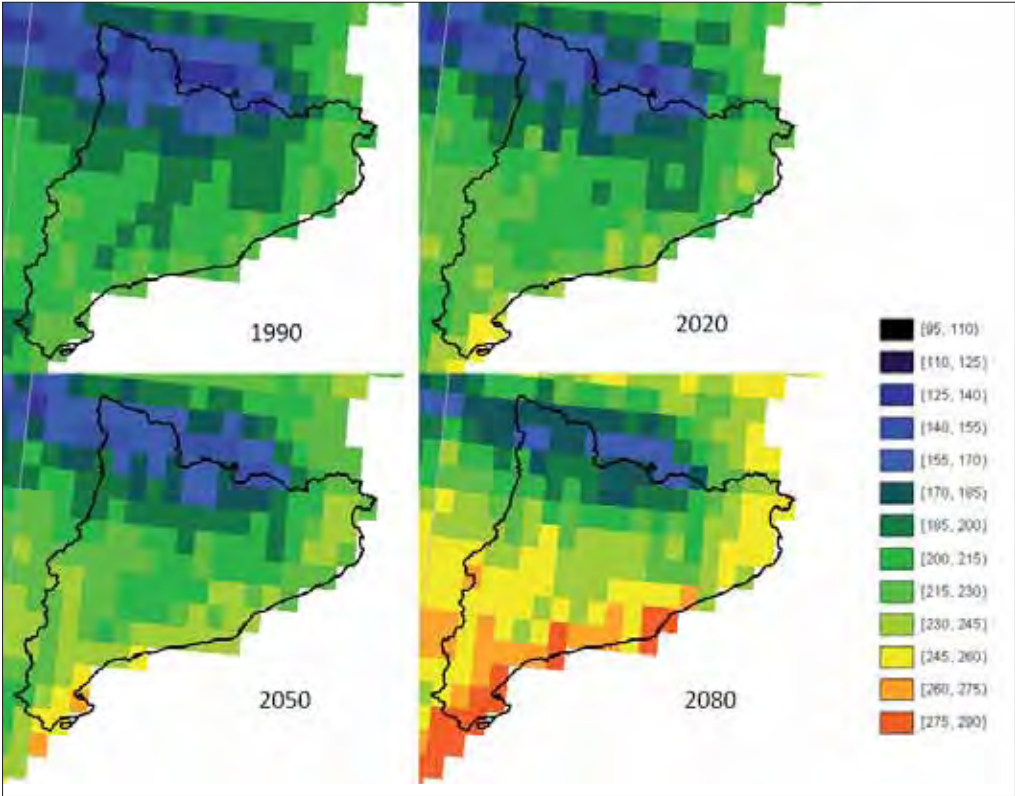


Figura 17. Durada del període vegetatiu a Catalunya. Les dades de 1990 s'han calculat a partir de dades climàtiques observades. La durada als anys 2020, 2050 i 2080 són projeccions calculades a partir del clima projectat als escenaris de canvi climàtic descrits al text. Observi's l'augment gradual del període vegetatiu a tot el territori però especialment marcat als Pirineus i al sud de Catalunya. Segons les projeccions dels models de creixement forestal aquesta elongació del període d'activitat de la vegetació tindrà efectes pronunciats tant sobre la demanda hídrica dels boscos, com sobre la seva producció.

Tipus de clima	1960-1990	2020	2050	2080
Àrtic	111,6	105,9	120,1	149,5
Alpí	133,6	133,3	141,3	162,6
Boreal	140,4	146,6	154,1	173,3
Continental	175,3	182,0	188,6	207,4
Atlàntic	186,1	195,4	205,3	228,3
Mediterrani	206,6	223,1	230,3	256,5
Europa	168,5	176,2	183,9	205,4

Taula 5. Valors mitjans de la durada del període vegetatiu (dies) en les diferents regions bioclimàtiques d'Europa. Els valors de la columna 1960-1990 estan basats en l'equació de Chmielewski i Rotzer (2002) elaborada a partir de les observacions de la Xarxa Internacional de Jardins Fenològics. Els valors dels anys 2020, 2050 i 2080 són el resultat obtingut amb el model de creixement forestal GOTILWA+ (Gràcia et al., 2000) per a l'escenari climàtic projectat pel model de circulació atmosfèrica HadCM3 en un escenari socioeconòmic A2 de l'IPCC (2001). L'algorisme utilitzat per a la simulació del període vegetatiu es descriu al text. Cada valor és la mitjana dels valors obtinguts als píxels de 10' x 10' que cobreixen cada regió bioclimàtica.

Profunditat del sòl (cm)	Reserva hídrica al sòl (kg/m ²)			Respiració (kg C/ha/dia)		
	2004-2008	2096-2100	Canvi (%)	2004-2008	2096-2100	Canvi (%)
25	6,5	4,1	-37	27,9	34,3	23
100	23,2	15,0	-35	36,3	43,2	19

Taula 6. Reserva hídrica en dos sòls amb profunditats de 25 i 100 cm. Els valors projectats pel model GOTILWA+ a l'actualitat (2004-2008) es comparen amb els valors projectats a finals del present segle en un escenari socioeconòmic A2 amb les projeccions climàtiques per a aquest escenari del model climàtic HadCM3. El model projecta una reducció del 37 i el 35 %, respectivament. Conseqüentment, es produeix una limitació del CO₂ per la reducció de la fotosíntesi induïda per la menor disponibilitat hídrica i un augment de les taxes de respiració com a conseqüència de l'augment de la temperatura. En conjunt, aquestes respostes fisiològiques comporten un augment de la respiració del sistema del 23 i el 19 % respectivament comparades amb les actuals. Això significa una significativa reducció de la capacitat d'embornal dels nostres boscos, ja de per sí molt limitada.

situació a Catalunya amb la d'altres regions europees, el període vegetatiu s'allarga de manera desigual. L'any 2080 al Mediterrani passa, de mitjana, de 207 a 257 dies, mentre que la regió boreal s'allarga de 140 a 173 dies. Si fem la comparació per països, als països escandinaus tindrà una durada 30 dies superior a l'actual mentre que en als països del Mediterrani s'allargarà entre 44 y 60 dies (els casos d'Espanya i Portugal, respectivament). La taula 5 resumeix els valors estimats a partir de la comparació de les observacions realitzades entre 1960 i 1990 i els valors estimats per a cadascuna de les àrees climàtiques del continent els anys 2020, 2050 i 2080.

Aquest allargament de l'activitat de la vegetació es tradueix, com ja hem comentat, en un període més llarg de potencial consum d'aigua, i això en un escenari en el que els models projecten una reducció de les precipitacions. Simulacions dutes a terme amb el model GOTILWA+ projecten una reducció de la reserva d'aigua al sòl de fins a un 35% a finals del present segle respecte de les actuals (taula 6). Aquesta disminució es tradueix en una disminució de la producció que, al mateix temps, i atès el previsible augment de la temperatura, vindrà acompanyat d'un augment de fins a un 23% de la respiració de l'ecosistema, situació que en conjunt fa preveure una dràstica reducció de la ja escassa capacitat d'embornal dels nostres boscos. Això no obstant, val a dir que aquestes dades representen els resultats d'una exploració preliminar. Tenint presents les profundes implicacions d'aquests canvis en el futur dels nostres boscos, és de tot punt aconsellable efectuar una exploració més pro-

funda i acurada de les possibles respostes fisiològiques del bosc a aquests nous escenaris.

5.2. El carboni als prats i les pastures de Catalunya

A Catalunya, les pastures permanents ocupaven 339.800 hectàrees al darrer cens agrari de Catalunya, de 1999 (Idescat, 2009), repartides entre 4.607 explotacions. Aquesta superfície està lleugerament per sota de la meitat de la superfície forestal en aquell mateix cens (838.660 hectàrees). El cens, realitzat recomptant explotacions agràries, representa un 14,75% de la superfície d'aquestes. D'altra banda, segons l'inventari Ecològic i Forestal de Catalunya (IEFC, Gràcia *et al.* 2004, 2005), els prats i herbassars ocupen 128.437 ha, un 4,01% del territori global de Catalunya. Els matollars, sovint utilitzats com a pastures, n'ocupen un 16,43%. Una part dels boscos també és pasturada. Aquestes dades permeten reconèixer la importància que els prats i pastures tenen en les explotacions agràries a Catalunya, i identificar els principals destinataris de possibles mesures d'actuació. Una altra part important de les superfícies de pastures estaria ocupada per pastures comunals, és a dir, de propietat comuna dels pobles, que les utilitzen mancomunadament, o les lloguen i se'n reparteixen els beneficis. Tot i que la superfície d'aquestes sigui més petita en relació amb les de les explotacions, el seu paper és fonamental, tant des del punt de vista econòmic dins del món agrari i en particular del ramader, com de l'ambiental com a mantenedores de biodiversitat i bens i serveis ecosistèmics (Sebastià *et al.*, 2008a).

5.2.1. Capacitat d'embornal dels prats i les pastures a Catalunya

Estudis recents demostren la capacitat d'embornal de carboni dels sòls de prats i pastures a Europa, tot i que la importància de les pastures per a la mitigació del canvi climàtic es veu disminuïda quan es té en compte el paper d'altres gasos amb efecte d'hivernacle (Soussana *et al.*, 2007). A diferència dels boscos, que tenen una quantitat de carboni acumulada a la biomassa aèria (fusta) molt elevada, els prats i pastures presenten la proporció més gran de carboni (C) acumulada als sòls (fins a un 97%, Watson *et al.*, 2000). Als Pirineus catalans, la biomassa aèria dels prats de muntanya al pic de la vegetació és d'uns 400 g m⁻², mentre que la biomassa acumulada als 10 cm superiors del sòl és de 2 kg, i als 20 primers cm d'uns 3 kg de biomassa subterrània per m⁻² (Sebastià *et al.*, inèdit, base de dades PASTUS).

Pel que fa al sòl, un estudi als prats pirinencs per sobre dels 1.850 m d'altitud trobà entre 60 i

300 tones de carboni orgànic per hectàrea (SOCS, Garcia-Pausas *et al.*, 2007). En un estudi menys exhaustiu dut a terme a pastures de les muntanyes litorals meridionals del sud de Catalunya i nord de València s'han trobat valors d'entre 6 i 15 kg m⁻² (Sebastià *et al.*, inèdit, projecte CARBOCLUS).

5.2.2. Interacció dels embornals de carboni de prats i pastures de Catalunya amb factors del medi abiòtics

La quantitat de carboni que s'emmagatzema al sòl depèn del balanç entre els processos de retenció i els d'alliberament. La major part d'aquests processos (p.e., fixació de CO₂ a la fotosíntesi, alliberament a la respiració...) depenen de l'activitat fisiològica dels organismes, la taxa de la qual depèn alhora de la quantitat d'energia proporcionada, i per tant de la temperatura i el clima. D'altra banda, la disponibilitat d'aigua necessària per a aquests mateixos processos depèn

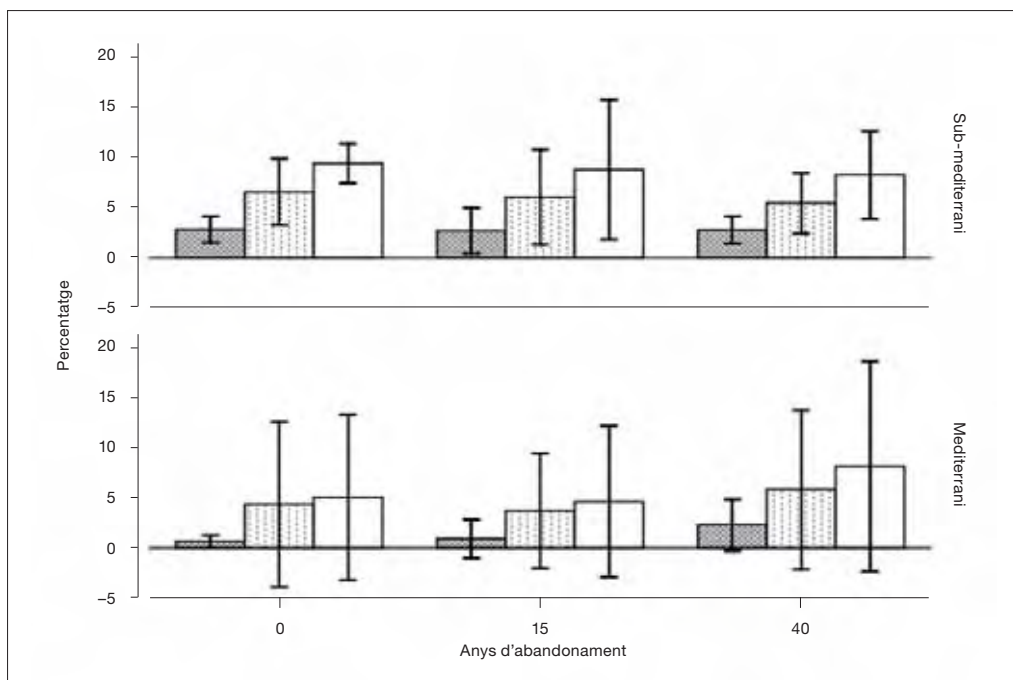


Figura 18. Mitjana i interval de confiança del 95% per a tres variables: carboni inorgànic (barres densament puntejades), carboni orgànic (barres puntejades) i carboni total (barres blanques). Resultats per a tres tipus diferents d'us del sòl: terrenys pasturats actualment, terrenys abandonats fa més de 15 anys, i terrenys abandonats fa més de 40 anys en àrees mediterrànies de baixa altitud (part inferior) i en àrees submediterrànies de muntanya (part superior).

Font: projecte CARBOCLUS, Sebastià *et al.*, dades no publicades.

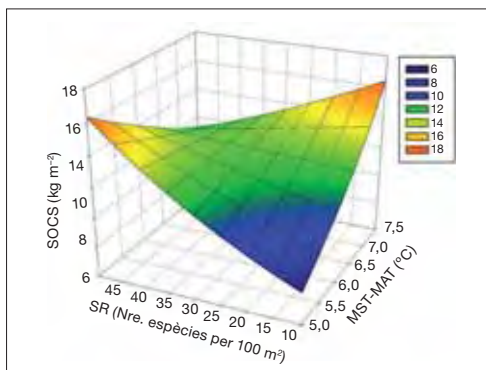


Figura 19. Relacions entre el carboni present als 20 cm superiors del sòl (SOCS) y la riquesa específica al llarg d'un gradient de temperatura estacional (MST-MAT) als prats pirinencs. MAT és la temperatura mitjana anual, i MST és la temperatura mitjana del mesos d'estiu. La riquesa específica s'ha mesurat com el nombre d'espècies de plantes en 100 metres quadrats. Valors de la variable SOCS predits pel model M1 per a valors de MAP (precipitació anual mitjana) = 1.100 mm, MSP (precipitació mitjana dels mesos d'estiu) = 350 mm; pendent = 10 °, i substrat litològic bàsic. La gestió consisteix en pastura per a diferents espècies de bestiar amb densitat moderada. Els valors mitjans de SOCS es van estimar invertint els valors logarítmics transformats. Font: Sebastià et al., base de dades PASTUS).

també del clima. Efectivament, en un mostreig molt ampli de prats de muntanya pirinencs amb un gran rang de condicions ambientals (base de dades PASTUS) es va trobar una dependència important dels SOCS amb els factors climàtics, sovint en interacció amb factors topogràfics i de paisatge (figures 18 i 19).

En particular, la diferència de temperatures mitjanes estival i anual (MST-MAT) explica una part significativa del carboni orgànic emmagatzemat als 20 cm superiors del fondària del sòl. Es produeix un augment dels SOCS amb temperatures més extremes, és a dir, més fredes a l'hivern i més calentes a l'estiu (figura 19). Sota condicions de canvi climàtic, en què s'espera un augment de les temperatures mínimes (capítol 6, 'Projeccions' d'aquesta obra), la possible disminució de la diferència de temperatures extremes podria reduir l'acumulació de carboni en algunes zones de clima més contrastat. D'altra banda, la precipitació anual també explica una part de la variació dels SOCS. En particular, hi ha un descens dels SOCS amb l'augment de la precipitació

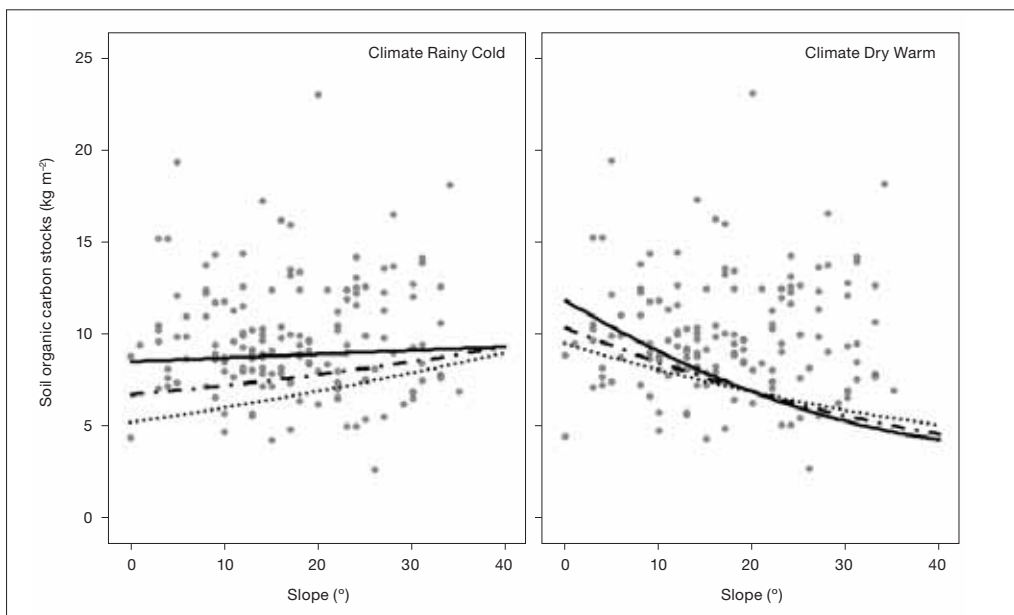


Figura 20. Canvis en el contingut de carboni orgànic als 20 cm superiors del sòl (SOCS) en terrenys amb pendent a dues àrees amb diferent clima i sota tres diferents règims de gestió pasturades per bovins a tres densitats diferents: pressió de pastura baixa (< 0,02 caps ha⁻¹, línia de punts); pressió de pastura moderada (0,2-0,4 caps ha⁻¹, línia de traços), elevada pressió de pastura (> 0,4 caps ha⁻¹, línia contínua). Clima plujós i fred: MAP 1.300, MSP 450, MST-MST 5; Clima sec i suau: MAP 900, MSP 200, MST-MST 6. MAP és la precipitació mitjana anual; MSP es la precipitació mitjana dels mesos d'estiu i MST-MST = Map-MSP. Font: Sebastià et al. 2008b.

anual, i un augment dels SOCS amb l'augment de l'estival.

En els models desenvolupats a partir de la base de dades PASTUS sobre SOCS als 20 primers cm de fondària es revela que el contingut de carboni al sòl té una forta dependència de factors fisiogràfics de paisatge, sovint amb interaccions amb les variables climàtiques (figures 19 i 20). En regions geogràfiques amb un relleu tan complex com és el de Catalunya, les variacions de contingut de carboni al sòl amb els factors de paisatge són importants i s'han de tenir en compte. En l'estudi de Garcia-Pausas *et al.* (2007), la variació de SOCS als perfils dels sòls de prats d'altitud es relacionava de manera complexa amb alguns tipus de litologia, la fondària del sòl i la precipitació, però en aquests dos darrers casos la relació depenia de l'orientació (figura 20). El rang més gran de condicions climàtiques recollides a la base de dades PASTUS fa que l'altitud desaparegui dels models generats amb aquesta (Sebastià *et al.*, 2008a), a diferència del treball de Garcia-Pausas *et al.* (2007), on només es consideren prats d'altitud elevada. En aquest cas, en augmentar l'altitud disminueixen els continguts de carboni orgànic al sòl (Garcia-Pausas *et al.*, 2007).

5.2.3. Interacció dels embornals de carboni de prats i pastures de Catalunya amb els canvis de gestió i d'ús del sòl

Els prats i altres ecosistemes pastorals acumulen una bona quantitat de carboni al sòl, però la capacitat d'embornal de carboni sembla dependent del tipus de gestió (Guo i Gifford, 2002). Conant *et al.* (2003) troben un augment en el carboni orgànic emmagatzemat al sòl amb l'augment de la pressió ramadera. A Catalunya, també se n'ha descrit un increment a mesura que augmenten les càrregues ramaderes, però només en pendents moderats i valors de diferència tèrmica estacional baixos (figura 20, Sebastià *et al.* 2008b).

D'altra banda, amb els canvis d'ús del sòl associats al canvi global, existeix una dinàmica d'abandó o disminució d'utilització pastoral de prats que passen a matollars i a boscos i viceversa, dinàmica sovint relacionada amb les polítiques agràries de la Unió Europea (Bayfield *et al.*

2008). Igualment, a Catalunya es produeixen canvis en la pressió ramadera dels prats i pastures (de Bello *et al.* 2005), i en el tipus de bestiar que utilitza les pastures, la qual cosa pot tenir repercussions sobre la vegetació (Sebastià *et al.*, 2008a). Els canvis de la vegetació (variació en la proporció de gremis) en prats de muntanya pirinencs alhora s'ha vist que afectaven els cicles biogeoquímics (Sebastià, 2007).

Per tant, tots aquests canvis d'ús i de gestió dels prats i pastures poden modificar la quantitat de carboni al sòl. El canvi climàtic i d'ús del sòl han estat implicats com a principals factors de la pèrdua de carboni a nivell regional (Bellamy *et al.*, 2005, Smith *et al.*, 2007). En pastures on les càrregues ramaderes disminueixen i van sent envaïdes per matollars, Montané *et al.*, (2007) no trobaren diferències significatives en la quantitat de carboni sota els arbusts en comparació amb el prat herbat, excepte una lleugera tendència d'aquest a augmentar a les capes més superficials (15 cm de fondària). En pastures abandonades des de fa més de 40 anys, i que constitueixen ja pinedes més o menys denses, s'ha trobat una concentració mitjana de carboni de $13,5 \text{ g m}^{-2}$ a les muntanyes litorals meridionals, amb una elevada variabilitat (figura 18). A la muntanya mitjana del Pirineu Oriental els valors trobats a pinedes desenvolupades sobre pastures abandonades des de fa més de 40 anys són d' 11 g C m^{-2} (figura 18). Finalment, a freixenedes joves del Pirineu Central establertes sobre prats de dall abandonats, els valors mitjans als 20 primers centímetres del sòl són ja d' $11,8 \pm 0,111 \text{ g C m}^{-2}$ (Llurba *et al.*, 2008).

En un estudi sobre embornals de carboni a pastures europees i gestió, Wohlfahrt *et al.* (2008) troben que la freqüència i sincronització de les pràctiques agrícoles és crucial per a la determinació de la sensibilitat de les pastures de muntanyes investigades als factors climàtics. Tanmateix, els resultats dels models desenvolupats a partir de la base de dades PASTUS mostren que l'efecte dels factors de gestió sobre el carboni orgànic emmagatzemat al sòl és més sensible a les variables topogràfiques, i per tant, microclimàtiques, que no pas a les macroclimàtiques (figura 20).

5.2.4. Interacció dels embornals de carboni de prats i pastures de Catalunya amb la biodiversitat

Amb el canvi climàtic està previst que es produeixin grans canvis en el funcionament dels ecosistemes, incloent-hi els cicles biogeoquímics i per tant del carboni (Smith *et al.*, 2007), i també que hi hagi pèrdues de biodiversitat (Sala *et al.*, 2000). Als prats de muntanya catalans, s'ha trobat que l'efecte afavoridor de l'acumulació de carboni de les temperatures estacionals contrastades es veu compensat en zones amb temperatures estacionals menys contrastades per valors alts de biodiversitat, en particular, riquesa florística (figura 19).

El carboni als ecosistemes té una rellevància de cara a la mitigació del canvi climàtic. Tanmateix, el carboni al sòl també té un paper fonamental en altres béns i serveis que els ecosistemes proporcionen. En particular, la matèria orgànica edàfica, que és una de les formes prioritàries de carboni al ecosistema dels prats, és una font de fertilitat (Marks *et al.*, 2009). La reducció d'aquest recurs amb el canvi climàtic comportaria la disminució de la fertilitat del sòl. La diversitat ha estat relacionada precisament amb el manteniment dels béns i serveis que proporcionen els ecosistemes (Hooper *et al.*, 2005, Diaz *et al.*, 2007). La relació positiva trobada entre carboni orgànic al sòl i la biodiversitat de les pastures pirinenques sota un ventall ampli de condicions climàtiques, juntament amb el paper modulador del contrast tèrmic estacional, demostren la rellevància de la conservació de la biodiversitat conjuntament amb el carboni al sòl per tal d'afavorir la mitigació del canvi climàtic. Per això, les pràctiques de conservació s'han de dissenyar tenint en compte les interaccions complexes dels efectes biòtics i abiòtics locals sobre els processos ecosistèmics lligats al segrest de carboni. Les pràctiques de gestió dels prats han de ser una eina per permetre millorar la capacitat del sòl d'absorbir carboni, que permetin al mateix temps el manteniment de la biodiversitat sota condicions de canvi climàtic.

Els prats i pastures a Catalunya constitueixen un reservori tant de biodiversitat com de carboni al sòl. Mesures de conservació d'una semblen afavorir-ne l'altre, però la complexitat d'interac-

cions amb el clima i d'altres factors de paisatge suggereixen la importància de les mesures de gestió locals, emmarcades dins del model global desenvolupat. Les relacions trobades amb la gestió de moment suggereixen que s'ha d'afavorir el pasturatge relativament moderat però mantingut, i que s'han d'implementar mesures que afavoreixin el pasturatge mixt, amb combinacions de diversos tipus de bestiar, principalment gros (vaques, cavalls) amb petit (ovelles, cabres). La nova PAC (Política Agrària Comunitària) conté elements que afavoreixen aquesta mesura.

5.3. Sistemes agrícoles

L'agricultura en el Mediterrani està constituïda per diferents conreus amb una productivitat limitada per les condicions ambientals, encara que millorada amb mètodes i sistemes agrònomic generats en base al coneixement genètic i ecofisiològic de les espècies conreades (vegeu la figura 21). Tanmateix, no es caracteritzen per les grans aportacions de matèria orgànica als sòls on es desenvolupen. És per això que s'ha d'intentar mantenir els continguts de matèria orgànica en els sòls a uns nivells adequats mitjançant l'aportació de matèria orgànica que, en la majoria d'àrees agrícoles, deriven de material vegetal (residus de la poda, de collita...), dels fems animals i de fangs de depuradora. Aquestes aportacions tracten de compensar les pèrdues per l'oxidació de la matèria orgànica, extraccions dels conreus i l'erosió del sòl (Brady *et al.*, 2002).

Segons els resultats mostrats per alguns autors el sòl pot ser un important embornal de

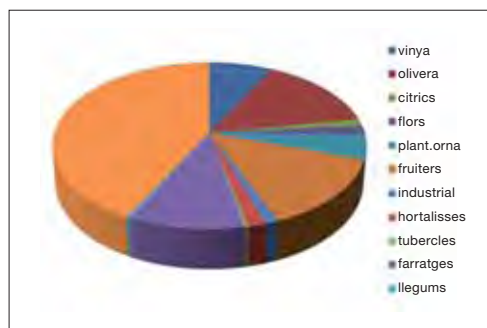


Figura 21. Percentatge de distribució de grans conreus a Catalunya.

Font: Anglès, 2009; DAAR, 2007

carboni (Alcañiz *et al.*, 2005; Grañana i Boixadera, 2009). El carboni orgànic del sòl representa la major reserva en interacció amb l'atmosfera als ecosistemes terrestres i s'estima en prop de 1.200 Gt de C a 1 metre de profunditat (FAO, 2002), junt amb un reservori de carboni inorgànic d'unes 750 Gt més. (21). Aquest darrera forma de carboni no ha estat tant presa en consideració per la seva importància relativa en els llocs on s'han realitzat els estudis de carboni, i per la baixa incidència de l'activitat antropogènica en el seu emmagatzemament i mobilitat.

La matèria orgànica sovint no supera el 10% dels components del sòl, però és clau en algunes de les propietats que en determinen la qualitat: augmenta la resistència davant l'erosió, la capacitat de reserva d'aigua, la capacitat d'intercanvi catiònic, i constitueix una reserva de nutrients en mineralitzar-se, de manera que el contingut de matèria orgànica es considera, sovint, com un indicador de la qualitat del sòl. No només actua com a reservori de carboni, sinó que també afavoreix el segrest de carboni per la biosfera en la mesura que augmenta el potencial productiu del sòl. (Alcañiz *et al.*, 2005).

L'agricultura és la principal empresa de l'ús de la terra arreu del món, i genera un important desenvolupament econòmic, social i cultural, alhora que ofereix una àmplia gamma de serveis. És important destacar que l'agricultura, tot i la seva tecnificació, continua sent molt sensible a les variacions del clima, que és la principal font global de variabilitat interanual en la producció agrícola, tot i que cada cop més fenòmens especulatiu generen fenòmens additius a aquesta resposta (Aggarwal, 2003 i 2008; Tubiello i Amt-hor, 2007).

Històricament la producció agrícola, s'ha confós amb la productivitat, és dir la quantitat de producte potencialment comercialitzable per unitat de superfície i de temps, cosa que fa que s'estigui molt lluny del coneixement de la producció primària real i, en conseqüència, els potencials balanços de carboni siguin difícils de precisar, i resultin aproximats i moltes vegades massa allunyats de la realitat. Així, no es tenen en compte els creixements de parts de la biomassa que no són directament productius, bé perquè s'eliminen en alguna fase del conreu,

generalment anualment, en successives podes de formació, conducció, adaptació (branques i fulles), bé perquè no es tenen en compte (arrels).

Actualment els conreus ocupen el 33% de la superfície de Catalunya; el 68% son de secà, i la resta de regadiu amb protecció o sense (Anglès, 2009; DAAR, 2007).

Per tal d'estimar el possible paper d'embornals dels conreus agrícoles de Catalunya, podríem utilitzar aproximacions (Goudriaan, Rob Groot i Uithol, 2001) a partir de la radiació incident per unitat de superfície (aprox. $14 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) i multiplicant-la per la màxima eficiència de la radiació ($1,7 \text{ g de DW MJ}^{-1}$) en condicions totalment òptimes, donaria un valor de $3,9 \text{ kg deC m}^{-2} \text{ any}^{-1}$. Si aquesta xifra es multipliqués per la superfície total conreada es tindria la potencial producció primària màxima total del país.

En el cas de Catalunya estariem parlant d'aproximadament 835.104 ha de les quals, en xifres aproximades, 527.309 i 237.365 ha serien les corresponents al secà i el regadiu, respectivament. Caldria tenir en compte les temperatures extremes que podrien reduir la producció en un 30%, la sequera que pot fer-ho en un 60%, i els nutrients i les interaccions entre estressos poden reduir-la un 60% més. Si es considera que els conreus de secà que es veuran afectats per totes situacions d'estrés i els de regadiu només per les temperatures extremes i les interaccions, el nou càlcul situarà uns valors de $4,37$ i $10,92 \text{ t C ha}^{-1} \cdot \text{any}^{-1}$ per al secà i el regadiu, respectivament, el que dóna unes xifres de 2,30 i 2,59 Mt C $\cdot \text{any}^{-1}$ per a tota la superfície de secà i de regadiu, respectivament. Les tones totals de carboni potencialment capturat per l'agricultura de Catalunya serien 4,9 Mt.

La figura 22 (Savé *et al.*, 2009) mostra la relació establerta entre la part aèria i la subterrània de diferents conreus llenyosos i herbacis desenvolupats per l'IRTA. Així, la relació és doble/senzill de biomassa, i en conseqüència, el carboni que trobem en les capçades i troncs respecte del que hi ha en les arrels. Tanmateix, aquesta és una visió puntual, és a dir, que mostra una situació en un moment del temps, que de ben segur ens dóna idea del lloc on està l'embornal de car-

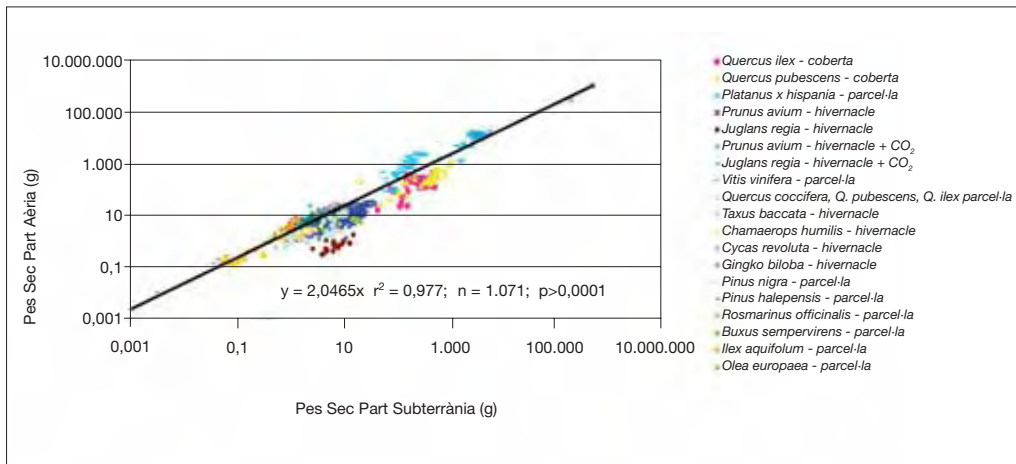


Figura 22. Relació entre la biomassa aèria i subterrània de diferents conreus a Catalunya.

Font: Savé et al., 2009.

boni, però que en cap moment ens explica com gradua la vegetació el seu flux en els conreus i en el sòl. Basant-nos en ella i d'acord amb els càlculs anteriors es pot dir que, de la potencial producció primària anual, 2,89 i 1,48 t C·ha⁻¹ de secà·any⁻¹ i 7,21 i 3,71 t C·ha⁻¹ de regadiu·any⁻¹ es localitzen en la part aèria i subterrània respectivament, és a dir, el 67 i el 33% respectivament.

D'acord amb l'informe del DAAR 2007, la producció total dels diferents conreus de Catalunya (figura 21) es pot xifrar en 6,9 Mt·any⁻¹, que dona, sense poder fer distincions entre conreus de secà i de regadiu, una producció de 6,62 t de matèria fresca·ha⁻¹·any⁻¹. Considerant el seu percentatge d'aigua donaria un valor aproximat de 3,31 tm de matèria seca·ha⁻¹·any⁻¹ i, en conseqüència, unes 1,39 t de C·ha⁻¹·any⁻¹. Aquestes grans xifres indicarien que la productivitat, la producció agrícola efectiva, estaria al voltant del 20% de la producció agrícola total. Fent una simple aproximació es pot veure com aquest 20% es mobilitzarà més o menys ràpidament vers el metabolisme somàtic (aliments) i/o exosomàtic (fons d'energia, manufacturats...) de la població. La resta de producció agrícola aèria serà mobilitzada de maneres ben diverses segons el conreu i sistema agronòmic emprat. Tanmateix, una part molt important (fulles, branques, flors,...) serà tornada anualment al cicle, restant tant sols acu-

mulant carboni als troncs, que poden representar una quantitat important, però un altre cop molt variable atenent a l'espècie (arbre o arbust) i a l'agronomia, tipus de poda, entutorat, conducció), i a la fi serà retornat al cicle d'acord amb les expectatives variables del binomi mercat-producció, que dona uns cicles de tall d'entre 2 i 70 anys (arbusts PAMS i vinyes).

Cal tenir en compte, però, les limitacions d'informació que dificulten la modelització d'aquests processos. Així, fins ara, les avaluacions s'han basat principalment en estudis de casos locals que han analitzat com reacciona el sòl d'acord amb el canvi climàtic i a la combinació amb l'evolució de les practiques agrícoles i forestals, és a dir, disposar d'informació objectiva respecte dels efectes del canvi global (condicions ambientals i antropogèniques) en els sòls. (EEA report 4/2008). Baixos nivells de carboni orgànic en el sòl limiten la seva fertilitat i la capacitat de retenció d'aigua a la vegada que tendeixen a augmentar la compactació del sòl i, per tant, a augmentar en les aigües superficials d'escorrentia i a l'erosió. També donen lloc a reduccions de la diversitat biològica i una major susceptibilitat als àcids o àlcalis, cosa que pot promoure majors alliberaments de CO₂ a l'atmosfera (Janssens, 2004; Bellamy, 2005).

Un impacte previsible del canvi climàtic sobre els sòls mediterranis és la pèrdua de matèria or-

gànica per increment de mineralització i disminució de les aportacions de la vegetació. Atès que molts dels sòls de Catalunya ja en són pobres, aquesta pèrdua pot tenir efectes en cadena sobre propietats físiques com l'estabilitat de l'estructura, el risc d'erosió o la disminució de les taxes d'infiltració, entre altres (Alcañiz *et al.*, 2005).

Una ràpida estimació de l'estat de l'estructura del sòl i de la fertilitat actual al sud d'Europa indica que existeixen clares tendències negatives. Si es parla de la qualitat del sòl en general, i del contingut de matèria orgànica en particular, s'ha de dir que és necessària i prioritària una planificació sostenible de l'ús dels recursos del sòl. (Zdruli *et al.*, 2004). Les principals mesures per reduir els efectes negatius del potencial canvi climàtic, dins del canvi global, són els canvis en la coberta terrestre i l'adaptació de les pràctiques de gestió de la terra (Liski *et al.*, 2002; Janssens *et al.*, 2004, Smith *et al.*, 2005, 2007).

Actualment s'estima que els sòls europeus acumulen al voltant de 28 Gt de carboni (les torberes aporten al voltant de 42 Gt de carboni) (Byrne *et al.*, 2004). La quantitat de carboni orgànic en el sòl ve determinada principalment pel balanç net entre les aportacions de la vegetació i la descomposició de la matèria orgànica present. Sense les aportacions de les plantes al sòl, la quantitat de carboni en les terres de conreu pot disminuir anualment entre 9 i 12 t C·ha⁻¹. Aquestes pèrdues podrien tornar-se en augments d'1 a 7 t C·ha⁻¹ (Smith *et al.*, 2005) fent ús dels avenços tecnològics encara que el consum d'energia necessari per a l'aplicació d'aquestes tècniques agrícoles comporta unes emissions importants de CO₂ a l'atmosfera que podrien neutralitzar aquest modest paper d'embornal dels sistemes agrícoles que estem discutint. A Catalunya es disposa d'escassa i molt fragmentària informació del paper de l'agricultura com a embornal de carboni en les condicions actuals i en les que previsiblement prevaldran en el futur en el marc del canvi climàtic. Cal augmentar el coneixements de base i la seva potencial aplicabilitat en el sector agrícola per tractar de mitigar les vulnerabilitats i per optimitzar la gestió dels cicles de l'aigua i del carboni en el sector agrícola des d'una perspectiva ecològica.

5.4. Els sistemes aquàtics continentals com a embornals de CO₂

El carboni entra als sistemes aquàtics mitjançant la dissolució del CO₂ atmosfèric i com a component tant de la matèria orgànica com inorgànica, ja sigui en partícules o dissolta, que procedeix de les conques. La quantitat de CO₂ atmosfèric que es dissol depèn de la pressió parcial d'aquest gas a l'atmosfera i de la seva concentració a l'aigua (com a CO₂ i com a bicarbonat bàsicament, que han d'acabar en equilibri), així com també de la temperatura i el pH. En funció del pH de l'aigua, i a mesura que aquest augmenta, el CO₂ que es dissol pot estar, en diferents proporcions, com a gas, com a àcid carbònic, com a bicarbonat o bé com a carbonat. Si hi ha calci, té tendència a formar-se CaCO₃, que és molt poc soluble i precipita químicament, el que representa un embornal de carboni.

Mitjançant la fotosíntesis, el CO₂ i el HCO₃⁻ passen a formar part de la vegetació aquàtica en forma de fitoplàncton, de macròfits o de fitobentos. A partir d'aquí, el cicle pot ser més o menys complex. Una part del carboni assimilat s'allibera ràpidament en forma de CO₂ per respiració de la pròpia vegetació mentre que la resta passa a circular per la xarxa tròfica: zooplàncton, zoobentos, peixos, aus, bacteris... i també va retornant a l'aigua a través de la respiració de cadascun d'aquests compartiments, on pot ser reutilitzat pels productors primaris; si supera la pressió parcial del CO₂ atmosfèric, abandona la massa d'aigua. Una part del carboni assimilat pot també quedar dipositat en forma mineral o químicament reduït als sediments anaeròbics, i passar alguna fracció a metà mitjançant la reducció del diòxid de carboni sempre que es produeixin les condicions adients. El metà pot ser de nou oxidat a anhidrid carbònic dintre de l'aigua i seguir la ruta d'aquest, o ser directament alliberat a l'atmosfera.

El cicle biogeoquímic del carboni varia en funció de les rutes metabòliques dominants. Els sistemes dominats per l'autotròfia són aquells en què la principal font de carboni és inorgànica (CO₂ o matèria inorgànica, ja sigui particulada o dissolta). En general, la ruta dominant que segueix el carboni als ecosistemes aquàtics és l'autotròfia, en la qual els organismes fotosintetitzadors

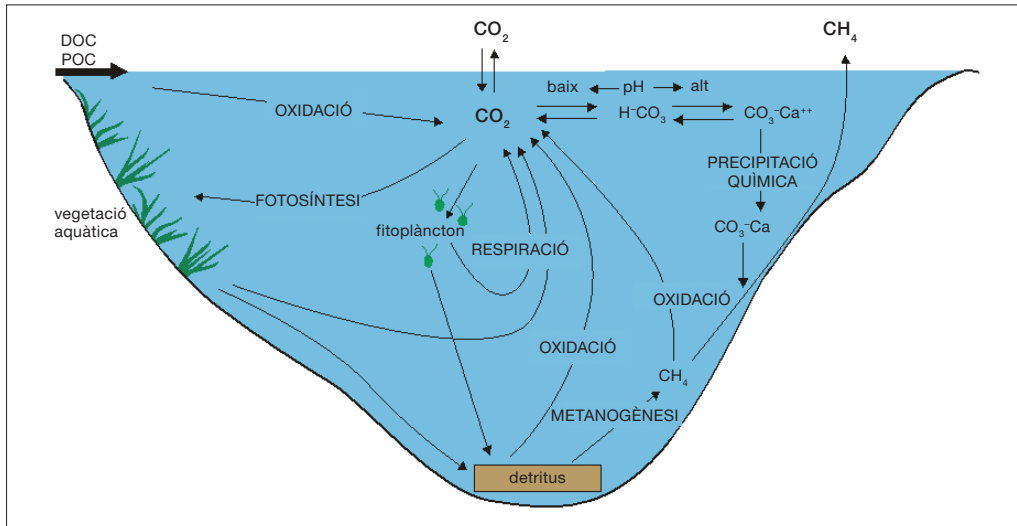


Figura 23. Cicle del carboni als ecosistemes aquàtics. El carboni entra als sistemes aquàtics mitjançant la dissolució del CO_2 atmosfèric i com a component tant de la matèria orgànica com inorgànica que procedeix de les seves conques.

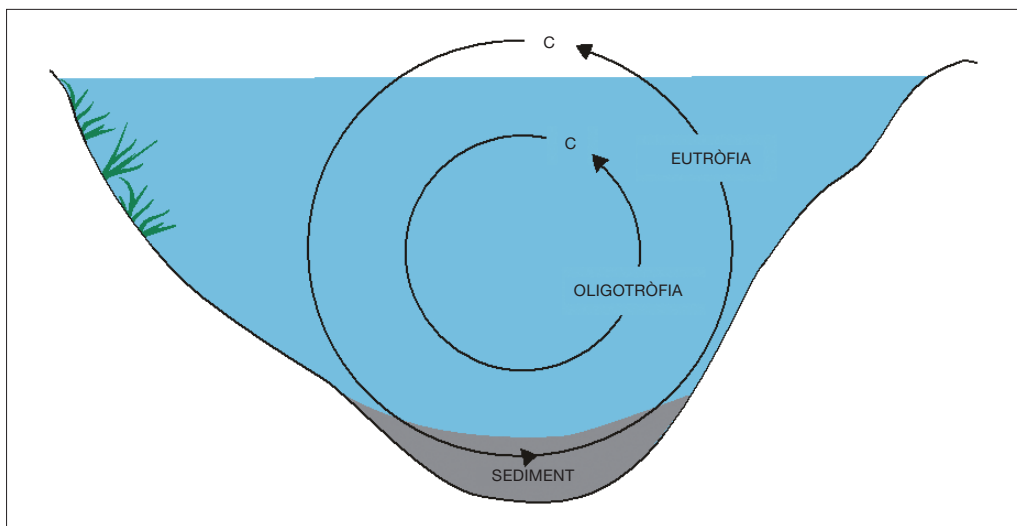


Figura 24. Diferència entre el cicle del carboni a llacs i embassaments eutròfics (cicle obert a l'atmosfera i al sediment) i oligotròfics (cicle tancat). DOC: Carbó orgànic dissolt; POC: Carbó orgànic particulat.

fixen el CO_2 atmosfèric que passa a l'aigua. Si el sistema és oligotròfic, el cicle del carboni en la massa d'aigua és gairebé tancat i amb molt escàs intercanvi amb l'atmosfera i els sediments (figura 24). Ara bé, si el sistema és eutròfic, augmenta el seu paper com a segrestador de CO_2 atmosfèric ja que el cicle del carboni s'obre al sediment.

Per la seva banda, els sistemes heterotròfics serien aquells en què domina l'entrada de carboni en forma orgànica. En aquests domina la respiració, ja sigui d'animals o de bacteris i, per tant, desprenen CO_2 que prové de la matèria orgànica importada a la massa d'aigua. No obstant això, aquests sistemes aquàtics també poden anar

emmagatzemant una fracció del carboni orgànic que reben.

5.4.1. Influència de llacs i embassaments

A Catalunya hi ha 30 embassaments que cobreixen una superfície total de 98 km², un 0,3% de la superfície total del territori. La superfície ocupada pels llacs és probablement menor, i la gran majoria es troben als Pirineus. Els llacs pirinencs són oligotròfics, per la qual cosa la fixació de CO₂ es pot considerar insignificant en el context dels balanços generals al país. Per aquest motiu en aquest apartat només ens referirem a la capacitat d'embornal dels embassaments.

Els rius incorporen carboni orgànic dissolt i en partícules a partir dels sistemes terrestres que drenen, i el van processant durant el seu recorregut. De fet, els embassaments són rius modifi-

cats en els quals s'augmenten de manera artificial la secció hidràulica i el temps de residència de l'aigua. Aquests canvis en comporten de substancials en el funcionament com a ecosistemes al passar d'una organització horitzontal a una de predominantment vertical. Pel que respecta al metabolisme del carboni, el seu comportament varia i, en molts casos, s'assembla més al dels sistemes fluvials que al dels sistemes lacustres. Com sistemes en què la component heterotròfica té molt de pes, els rius tendeixen més a desprendre gasos amb efecte d'hivernacle que a segrestar-los; en canvi, els embassaments, depenent de si el seu comportament és més fluvial o lacustre, poden presentar una resposta més variable. Una altra característica exclusiva dels embassaments és que aboquen aigües hipolimnètiques, més fredes i sotmeses a major pressió hidrostàtica, i per tant

Tipus de massa d'aigua	Taxa d'emissió mitjana de CO ₂	
	(mg CO ₂ m ⁻² dia ⁻¹)	(g C m ⁻² any ⁻¹)
<i>Embassaments hidroelèctrics (Duchemin et al., 1995)</i>		
Canadà	500-1.000	49,8-99,5
<i>Embassaments i llacs (Canadà, Duchemin et al. 1999)</i>		
Embassament Manic	1.170 (±470)	116,5
Llac de referència Manic	1.010 (±405)	100,5
Embassament Gouin	1.165 (±685)	116,0
Llac de referència Gouin	1.700 (±950)	169,2
<i>Embassaments hidroelèctrics Amazones (Brasil, Rosa et al., 1997)</i>		
Curuá-Una	134,3	13,4
<i>Embassaments del Brasil (Rosa et al. 1999)</i>		
Tucuruí	8.475	843,6
Samuel	6.719	668,8
Xingó	6.048	602,1
Miranda	4.388	436,8
Barra Bonita	3.891	387,3
Segredo	2.695	268,3
Serra da Mesa	2.654	264,2
Três Marias	1.138	113,3
Itaipú	170	16,9
<i>Embassaments i llacs (sud-est d' Estats Units, Therrien et al., 2005)</i>		
Embassaments (n=259)	664 (±1,091)	66,13 (±108,7)
Llacs (n=31)	874 (±2,214)	87 (±220,5)
<i>Embassaments i llacs (Canadà, Tremblay et al., 2005)</i>		
Embassaments (n=56)	1.508 (±1,471)	150,2 (±108,7)
Llacs (n=43)	1.013 (±1,095)	100,9 (±220,5)
<i>Embassaments de Susqueda (Catalunya, Endesa 2008)</i>		
	398	39,6

Taula 7. Emissions netes de CO₂ en llacs i embassaments de diversos països.

amb major capacitat per mantenir gasos en dissolució (N_2O , CO_2 i CH_4), que quan surten són ràpidament desgasificats.

Tanmateix, els embassaments inunden ecosistemes terrestres, el que significa que al menys en les etapes inicials de la seva història disposen d'una gran quantitat de matèria orgànica que van metabolitzant per via detrítica. En general, aquesta primera fase que podria anomenar-se heterotròfica té una durada propera a una dècada, i es distingeix perquè les emissions de CO_2 i de CH_4 són més elevades.

Passat aquest període l'embassament aconseguix una situació d'equilibri i redueix l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a les taxes pròpies d'altres sistemes aquàtics naturals equivalents. Com a referència de les emissions de CO_2 procedents de llacs i embassaments la taula 7 inclou algunes dades provinents d'autors diversos.

Aquestes dades, malgrat que mostren una gran variabilitat entre diferents masses d'aigua, delimiten les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en un ordre de magnitud entre 100 i $10.000 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, que serien equivalents a 10 i $1.000 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$. Tremblay *et al.* (2005) donen valors d'emissions de CH_4 molt més modestos: $0,6 \pm 13 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ per a llacs i $8,8 \pm 12 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ per a embassaments, ambdós situats en clima boreal. Per a aquestes mateixes masses d'aigua, aquests autors van mesurar emissions de $-1,3$ a $3,1 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, que són consistents amb les trobades als llacs de regions temperades, de $0,1$ a $0,7 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Downes, 1999; Mengis *et al.*, 1997), i les trobades als Grans Llacs dels Estats Units, de $3,5 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Tot sembla indicar que l'emissió de CO_2 als embassaments és menor o igual que als llacs, mentre que l'emissió de CH_4 és major als embassaments que als llacs.

Tot i que els embassaments emetin CO_2 , aquest prové de la conca drenant, o sigui que pertany al cicle actual del carboni, i de no haver estat transportat cap a l'embassament, hauria estat probablement emès en altres parts de la conca. El que poden fer els embassaments és immobilitzar, als sediments anòxics, part d'aquest carboni provinent de la conca i fixat pel propi ecosistema aquàtic. D'això hi ha poques dades, però s'ha comprovat que l'embassament de Sus-

queda reté als sediments $665 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}$ (Palau i Alonso, 2008). Aquesta capacitat d'embornal és molt superior al rang normal de sedimentació en llacs (entre 60 i $200 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}$, Margalef, 1983) i probablement també superior a la de determinats ecosistemes terrestres substituïts pels embassaments. Tot i aquests valors associats als processos de sedimentació, veiem que el paper de les aigües continentals, estretament connectades als ecosistemes terrestres, resulta insignificant en un context global.

5.5. Embornals marins

Des dels inicis del període industrial, entre els anys 1800 i 1994, un 30% aproximadament de les emissions antropogèniques de CO_2 han anat a parar a l'oceà (Sabine *et al.*, 2004). És per això que l'oceà és considerat un embornal de carboni de primera magnitud, comparable al que globalment formen els ecosistemes terrestres. La capacitat de l'oceà d'absorbir CO_2 és funció de la solubilitat d'aquest gas i de la capacitat de tamponament químic de les aigües marines, associada a la reacció entre el CO_2 i els carbonats dissolts. El CO_2 flueix contínuament entre l'atmosfera i les capes superficials de l'oceà (els primers centenars de metres), de manera que es pot equilibrar molt ràpidament. La incorporació de CO_2 a les capes intermèdies i fondes és, no obstant, molt més lenta, de centenars i milers d'anys respectivament, de manera que aquestes aigües no proporcionen un magatzem immediat. Tanmateix, aquesta incorporació està molt supeditada al transport de masses d'aigua i a les variacions de la circulació oceànica. Tot això ens indica que la capacitat de l'oceà com a embornal pot variar en resposta a canvis en la física i la química de les aigües. L'embornal oceànic ha captat un 25% de les emissions durant el període 2000-2008 (Le Quéré *et al.*, 2009) i es preveu que aquesta tendència decreixent es pugui mantenir en el futur.

Els processos biològics també contribueixen a l'absorció de CO_2 atmosfèric a l'oceà. La producció primària disminueix la pressió parcial de CO_2 a les capes superficials i, per tant, promou la absorció de CO_2 atmosfèric. Una part de la producció s'exporta en fondària, en forma de restes orgàniques i de material orgànic dissolt.

Així és com la producció neta de l'ecosistema s'incorpora al magatzem de carboni que formen les aigües intermèdies i fondes, procés que dona lloc al que s'anomena 'producció exportada' i configura la *bomba biològica de carboni*. En condicions estacionàries, aquesta exportació de carboni està pràcticament compensada pel transport de CO₂ associat als moviments verticals de les masses d'aigua, i únicament una petita part (un 2%, aproximadament) s'incorpora a la reserva sedimentària. No obstant, eventualment es poden donar canvis que desequilibrin els intercanvis de carboni entre les capes superficials i el magatzem profund i que provoquin variacions de la concentració de CO₂ atmosfèric. Aquest canvis tant poden venir de variacions de la producció primària i la conseqüent exportació de carboni, com de variacions en les característiques físiques de les aigües i la circulació que facin variar els fluxos de retorn de CO₂ a les capes superficials. Un exemple d'això s'observa a les transicions de fase del cicles glacials. El fet de que el mecanisme de la *bomba biològica de carboni* pugui mantenir concentracions de CO₂ a l'atmosfera 150-200 ppmv inferiors a les que es donarien en un oceà sense vida (Falkowski *et al.*, 2000), dona una idea de la seva importància. Estudis recents apunten a una reducció de la producció primària marina a partir de l'any 1999 (Behrenfeld *et al.*, 2006). Aquest canvis poden alterar inevitablement tant la magnitud com la distribució dels intercanvis de CO₂ entre l'atmosfera i l'oceà.

El 96% de l'enterrament sedimentari de carboni té lloc a les zones costaneres, encara que aquestes ocupen únicament un 7% de la superfície total de l'oceà. En conseqüència, sembla convenient estudiar separatament la capacitat d'embornal dels dos medis: costaner, dominat per l'enterrament sedimentari, i oceànic, dominat pels intercanvis entre les aigües superficials i les fondes, així com també tractar els mecanismes que poden transportar l'excedent de matèria orgànica del sistema costaner directament cap a les aigües fondes.

5.5.1. El medi costaner

La diversitat de processos i hàbitats dins del sistema costaner dificulta donar una estima global

del flux atmosfera-oceà de CO₂. Els sistemes costaners reben grans quantitats de materials d'origen continental: nutrients inorgànics, matèria orgànica, carboni inorgànic dissolt, etc. En conseqüència, el flux net de CO₂ depèn del balanç entre l'augment de producció primària, de respiració i de precipitació de carbonats que es pot donar associat a les entrades al·lòctones i, per tant, és un element molt sensible a les perturbacions antropogèniques. Es pot tenir una primera aproximació a partir de la consideració del balanç metabòlic, expressat com a producció neta de l'ecosistema (NEP, *net ecosystem production*), dels ecosistemes més representatius del litoral mediterrani (taula 8). Encara que les comunitats vegetals costaneres solen tenir alts excedents de producció, una part substancial s'exporta a mar obert i dins del medi oceànic; únicament l'enterrament de carboni que es dona a les comunitats de fanerògames marines contribueix a la formació d'una reserva de carboni. No obstant, també hi ha enterrament de carboni als estuaris i, en general, als sediments costaners, encara que de menor importància (vegeu la taula 8). Malgrat això, la influència dels altres factors abans esmentats (augment de la respiració, de la precipitació de carbonats, etc.) fa que la major part de les zones costaneres, excloses les comunitats de fanerògames marines, siguin fonts de CO₂ cap a l'atmosfera. Les praderies de fanerògames marines constitueixen un cas especial. En particular, els prats de *Posidonia oceanica* (endèmica al Mediterrani) acumulen grans quantitats de restes orgàniques al sediment que formen unes construccions característiques, anomenades *matte*, on el carboni pot quedar segrestat durant milers d'anys. Les taxes d'acumulació de carboni als prats de fanerògames marines poden ser molt variades, entre els 10 i els 190 g C m⁻² any⁻¹ (Romero *et al.*, 1994; Mateo *et al.*, 1997); per tant, el valor de 83 g C m⁻² any⁻¹ (Duarte *et al.*, 2005; taula 8) es considera representatiu de molts casos. Aquests valors són comparables a l'exportació de carboni cap a les aigües fondes de mar obert que s'asseixeix a les regions més productives de l'oceà, de manera que, si ho considerem per unitat de superfície, la *Posidonia oceanica* pot tenir una contribució notable a l'emmagatzematge de car-

boni. No obstant, el fet que la superfície ocupada per *P. oceanica* sigui molt petita, fa que, des d'un punt de vista global, la seva contribució com a embornal marí de carboni sigui d'escassa importància. A més a més, per tenir una visió més integradora del paper d'aquest ecosistemes quant als fluxos de CO_2 s'haurien d'incloure la totalitat de processos que es donen a l'interior de les praderies: activitat heterotròfica extra degut a la presència d'una gran quantitat de fauna; també per l'elevada activitat microbiana associada a l'augment de deposició orgànica, etc. Un altre aspecte no menys rellevant es relaciona amb la precipitació/dissolució de carbonats, que pot modificar de forma substancial el balanç net de CO_2 . En aquest sentit, la producció de CO_2 associada a la precipitació de carbonats pot compensar el consum de CO_2 que s'esdevé com a conseqüència de la producció primària, disminuint, en conseqüència, la captació de CO_2 a les praderies de *P. oceanica*. La dissolució de carbonats tindria l'efecte contrari, ja que consumeix CO_2 .

5.5.2. El medi oceànic

El principal procés d'incorporació de CO_2 a les aigües fondes de la Mediterrània occidental té lloc a la zona del golf de Lleó, raó per la qual no es poden donar dades específiques per a la mar catalana. La Mediterrània occidental conté una de les poques regions del món on es dona el fenomen de la convecció profunda de mar obert; les altres es troben a l'Atlàntic nord i a l'oceà Austral. Aquest fenomen es localitza en una zona molt concreta del golf de Lleó, una franja situada entre els $41,5^\circ$ i els $42,5^\circ$ de latitud N i els 4° i els 6° de longitud est. A l'hivern es forma una zona convectiva que cobreix una extensió d'uns $2,5 \times 10^{10} \text{ m}^2$. La circulació ciclònica dominant ocasiona l'ascensió de les aigües de fondària en una banda al voltant dels 42° N , fet que porta l'aigua llevantina intermèdia (LIW, *Levantine Intermediate Water*), relativament salada i càlida, molt a prop de la superfície. El refredament de les aigües superficials durant els mesos d'hivern, afavorit pels vents freds i secs de tramuntana, fa que les aigües es tornin molt denses i s'enfonsin. La barreja de les aigües superficials i les de la LIW, produeix una aigua en-

cara més densa. A meitat de febrer, l'estabilitat d'aquesta aigua és tan reduïda que s'esdevé la convecció, amb l'enfonsament de grans volums d'aigua en forma de xemeneies i la formació de l'aigua fonda de la Mediterrània occidental (WMDW, *Western Mediterranean Deep Water*). Aquest fenomen dona pas a l'estació productiva i és crític, ja que condiciona la fertilitat de les aigües i els intercanvis atmosfera-oceà de CO_2 . S'han estimat taxes d'exportació de carboni cap a l'aigua fonda equivalents a 24 g C m^{-2} després d'un esdeveniment d'aquest tipus (Vidal *et al.*, 2007). De totes maneres, la regió ha estat molt poc estudiada i hi ha molta variabilitat interanual. Aquesta variabilitat es relaciona amb la intensitat de la convecció, en funció de les condicions climàtiques i de l'acoblament de l'estructura tròfica, que influeix en el destí de la producció primària: si és descomposta, lliura el CO_2 a l'aigua superficial, o s'exporta a les aigües fondes. Encara hi ha menys dades dels fluxos de CO_2 atmosfera-oceà. Dades preliminars d'un projecte en curs indiquen una captació mitjana de CO_2 per l'oceà de 32 i $24 \text{ mg C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a finals d'hivern i començament de primavera, respectivament (Vidal, dades no publicades). Estudis en una estació del mar Lìgur donen valors anuals entre $3,5$ i 8 g C m^{-2} , depenent dels anys (Bégovic i Copin-Montégut, 2002). El fet que els processos convectius del golf de Lleó siguin més intensos, indicaria uns fluxos de CO_2 també més alts i més propers als valors de $24\text{--}36 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$, mesurats a l'Atlàntic nord (Takahashi *et al.*, 2009), una de les regions més importants pel que fa a la captació oceànica de CO_2 .

5.5.3. La connexió costa-oceà

Per últim, queda per tractar un fenomen relativament poc conegut però no menys interessant i del qual també trobem representació a la mar catalana. Es tracta del fenomen de les cascades d'aigua densa costanera (DSWC, *Dense Shelf Water Cascading*). La formació d'aquestes aigües es dona a partir del refredament de les aigües costaneres. Les aigües denses llisquen pel fons marí fins al límit de la plataforma continental i van a caure pel pendent fins que troben la fondària d'equilibri d'acord amb la seva densitat.

La peculiar orografia i circulació de la Mediterrània occidental fa que aquestes llengües d'aigua densa de la plataforma es canalitzin pels canyons submarins, molt abundants a la zona del golf de Lleó, com ara els canyons del cap de Creus i de Palamós a la costa catalana. Aquest fenomen s'ha trobat reiteradament al canyó de Lacaze-Duthiers, on cada hivern s'ha constatat la presència d'aquestes aigües a fondàries d'entre 170 i 800 m (Durrieu de Madron *et al.*, 2005). Ocasionalment, en hiverns freds i secs, es formen aigües especialment denses que es poden enfonsar per sota dels 1.000 m de fondària, que fins i tot se situen per sota de l'aigua fonda mediterrània. Això va passar durant els hiverns de 1998-99 i 2004-05. Durant el seu descens aquestes aigües transporten grans quantitats de sediments i matèria orgànica que, atesa l'extensió del golf de Lleó ($1,2 \times 10^{10} \text{ m}^2$), representen un transport d'uns $50 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$ (Canals *et al.*, 2006), que resulta de la convecció hivernal de mar obert. En conseqüència, es pot considerar el fenomen de les cascades d'aigua densa costanera com un mecanisme que transporta l'excedent de matèria orgànica de l'ecosistema costaner cap a les aigües fondes, que contribueix d'aquesta manera a la formació d'aquest reservori.

5.5.4. Avaluació de la capacitat d'embornal de la mar catalana

Tal com s'ha comentat als apartats anteriors, les aigües fondes oceàniques i els sediments costaners formen els principals embornals marins de carboni. El transport/enterrament de carboni dins d'aquest reservori té lloc a partir de tres mecanismes singulars: la convecció hivernal de mar obert, les cascades d'aigua densa costanera, i l'enterrament de restes orgàniques a les praderies de *Posidonia oceanica*. El golf de Lleó és una regió paradigmàtica en aquest sentit, ja que hi estan representats tots tres mecanismes a bastament. Malgrat això, tot el que fa referència al reservori d'aigües fondes ha estat molt poc estudiat. A més a més, hi ha molta variabilitat, tant pel que fa als volums de les diferents masses d'aigua que s'enfonsen any rere any, com pel que fa a l'extensió de la regió de convecció i a les taxes d'exportació de carboni resultants. Tot això dificulta la tasca de donar una estima global d'emmagatzematge de carboni a les aigües fondes, a banda que es tracta de processos d'abast transnacional. Si considerem tota l'àrea del golf de Lleó, el transport anual de carboni cap a l'embornal de les aigües fondes arriba a valors de $120 \times 10^{10} \text{ g C}$ (taula 8, Canals *et al.*, 2006; Vidal *et al.*, 2007). Quant als sediments costaners, si

Component	NEP $\text{g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$	$\text{g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$	Enterrament $\text{g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$	Capacitat d'embornal $\times 10^{10} \text{ g C any}^{-1}$	Notes
Medi Nerític					
Prat fanerògames	1.211		83	1	1
Prat macroalgues	1.587				1
Sediment	-15		17		1
Estuari	-68		45		1
Medi oceànic					
Aigües fondes	-	24 ⁽²⁾		60	2
Sediment	-				1
Transport costa-oceà					
Cascades (DSWC)		50		60	3
Notes (1) Dades extretes d'una recopilació de Duarte <i>et al.</i> (2005); les de fanerògames corresponen a praderies mediterrànies, les de macroalgues, sediments i estuaris són d'una revisió extensa del mateix autor. (2) Dades de Vidal <i>et al.</i> (2007) estimades per a la zona de la convecció de mar obert del golf de Lleó. (3) Dades de Canals <i>et al.</i> (2006) estimades per a la zona del golf de Lleó. Font: Duarte <i>et al.</i> (2005), ⁽²⁾ Vidal <i>et al.</i> (2007), ⁽³⁾ Canals <i>et al.</i> (2006).					

Taula 8. Estimacions de producció neta de l'ecosistema (NEP), transport, enterrament i emmagatzematge de carboni en diferents medis. DSWC = cascades d'aigua densa costanera. ⁽¹⁾

considerem que un 10% d'aquests estan recoberts per praderies de *P. oceanica* (Romero *et al.*, 1994), en resulta un enterrament d'aproximadament 1×10^{10} g C per any, com a conseqüència de l'activitat d'aquests vegetals.

Referències

- AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE (2006). *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2006*. 27 Oct 2006.
- ALCAÑIZ, J. M.; BOIXADERA, J.; FELIPÓ, M.T. [et al.] (2005). «El paper dels sòls de Catalunya en el canvi climàtic». A: LLEBOT, J.E. (ed.). (2005). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*; Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, Institut d'Estudis Catalans i Servei Meteorològic de Catalunya, p. 555-608.
- ALMARZA, C. (2000). «Respuesta al Calentamiento Global de la serie de temperatura media anual de Madrid». *Actas de la II Asamblea Hispano-Lusa de Geodesia y Geofísica*.
- ANGLÈS, J. (2009). «Demanda de agua virtual para la producción de alimentos en Catalunya, Déficit actual y perspectivas de futuro». *Proc. 3^{er} Congreso Agricultura, Alimentación y Medio ambiente: Gestión del H₂O, usos y eficiencia*. UPC (Castelldefels, Barcelona).
- ARANJUELO, I.; PARDO, A.; BIEL, C. [et al.] (2009). «Effects of long term exposure to elevated CO₂ conditions in slow growing». *Global Change Biology*, 15, p. 97-109.
- BARRÓN, C.; DUARTE, C.M.; FRANKIGNOULLE, M.; BORGES, A. V. (2006). «Organic carbon metabolism and carbonate dynamics in a Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow». *Estuaries and coasts* 29 (3), p. 417-426.
- BAYFIELD, N.; BARANCOK, P.; FURGER, M. [et al.] (2008). «Stakeholder perceptions of the impacts of rural funding scenarios on mountain landscapes across Europe». *Ecosystems* 11, p. 1368-1382.
- BÉGOVIC, M.; COPIN-MONTÉGUT, C. (2002). «Processes controlling annual variations in the partial pressure of CO₂ in surface waters of the central northwestern Mediterranean Sea (Dyfamed site)». *Deep-Sea Research II* 49, p. 2031-2047.
- BEHRENFELD, M.J.; O'MALLEY, R.T.; SIEGEL, D.A. [et al.] (2006). «Climate-driven trends in contemporary ocean productivity». *Nature* 2006, p. 752-755.
- BELLAMY, P.H.; LOVELAND, P.J.; BRADLEY, R.I. [et al.] (2005). «Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003». *Nature* 437, p. 245-248.
- BELLOT, J. (1989) *Análisis de los flujos de la deposición global, trascolación, escorrentía cortical y deposición seca en el encinar mediterráneo de l'Avic*. Universidad de Alicante. (Tesi doctoral).
- DE BELLO, F.; LEPS, J.; SEBASTIÀ M.T. (2005). «Predictive value of plant traits to grazing along a climatic gradient in the Mediterranean». *Journal of Applied Ecology* 42, p. 824-833.
- BIEL, C.; DE HERRALDE, F.; EVANS, R.Y. [et al.] (2002). «Caracterización hídrica e hidráulica de *Cistus albidus* y *Quercus coccifera* micorrizados en vivero». *Proc. VI Symp. Hispano Luso de Relaciones Hidricas*. SEFV. Pamplona.
- BIEL, C.; SAVÉ, R.; GRAU, B. [et al.] (2007). «Scheduling irrigation based on soil and plant sensors in *Platanus hispanica* submitted to root restriction». *European Congress of Arboriculture*. Torino.
- BIEL, C.; SAVÉ, R.; CASADESUS, J. [et al.] (2007). «Utilización de sensores para la gestión del riego en zonas verdes». *Riegos y drenajes XXI* 23, p. 44-49.
- CANALS, M.; PUIG, P.; DURRIEU DE MADRON, X. [et al.] (2006). «Flushing submarine canyons». *Nature* 444, p. 354-357.
- CHMIELEWSKY, F.M.; RÖTZER, T. (2002). «Annual and spatial variability of the beginning of the growing season in Europe in relation to air temperature». *Climate Research* 19, p. 257-264.
- CONANT, R.T.; SIX J.; PAUSTIAN, K. (2003) «Land use effects on soil carbon fractions in the southeastern United States. I. Management-intensive versus extensive grazing». *Biology and Fertility of Soils* 38, p. 386-392.
- COWAN, I.R. (1978). «Water use in higher plants». A: MCINTYRE, A.K. (ed.). *Water: planets, plants and people*. Cambridge: Aust. Acad. Sci., p. 71-107.
- DAAR, DIR. GRAL. DE PLANIFICACIÓ I RELACIONS AGRÀRIES. (2007). *Superfícies, rendiments i produccions dels conreus agrícoles. Any 2007*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Inf. Tècnic GENCAT.
- DIAZ, S.; LAVOREL, S.; DE BELLO, F. [et al.] (2007). «Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, p. 20684-20689.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (1997-2006). *Tercer Inventario Forestal Nacional*; Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. (Obra completa).

- DUARTE, C. M.; MIDELBURG, J.J.; CARACO, N. (2005). «Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle». *Biogeosciences* 2, p. 1-8.
- DUCHEMIN, E.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R. (1995). «Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of the Boreal region». *Global Biogeochemical Cycles*, 9(4), p. 529-540.
- DUCHEMIN, E.; CANUEL, R.; FERLAND, P.; LUCOTTE, M. (1999). *Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques de l'entreprise et de lacs naturels* (Volet 2), Université du Québec à Montreal, p. 47.
- DURRIEU DE MADRON, X.; ZERAKIS, V.; THEOCHARIS, A.; GEORGOPOULOS, D. (2005). «Comments to 'Cascades of dense water around the world ocean'». *Progress Oceanography* 64, p. 83-90.
- EASTERLING, W.; AGGARWAL, P. [et al.] (2007). A: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P. [et al.] (eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*; Cambridge: Cambridge Univ Press, p. 273-313.
- ESWARAN, H.; REICH, P.F.; KIMBLE, J.M. [et al.] (1999). «Global carbon stocks». A: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; ESWARAN, H. [et al.] (eds.), *Global climate change and pedogenic carbonates*, Boca Raton, USA, p. 15-26.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2008). *Impacts of Europe's changing climate—2008 indicator-based assessment*. Caps. 5 i 7.
- FALKOWSKI, P.; SCHOLES, R.; BOYLE, J. [et al.] (2000). «The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system». *Science*, 290, p. 291-296.
- FAUST, M. (1986). «Research priorities for horticultural science». *HortScience* 21(6), p. 1475-1480.
- GARCIA-PAUSAS J.; CASALS P.; CAMARERO L. [et al.] (2003). «Contenido de carbono edáfico en sistemas praterenses de montaña de los Pirineos». *VII Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre. España ante los compromisos del protocolo de Kyoto: sistemas naturales y cambio climático*. Barcelona.
- (2007). «Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography». *Biogeochemistry*, 82, p. 279-289.
- GLIESSMAN, S.R. (1990). «Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture». A: GLIESSMAN, S.R. (ed.) *Ecological Studies* 78. Springer Verlag, cap. 1, p. 10.
- GOUDRIAAN, J.; ROB GROOT, J.J.; UITHOL, P.W.J. (2001). «Productivity of agroecosystems». A: ROY, J.; SAUGIER, B.; MOONEY, B. (eds.) *Terrestrial Global Productivity*; H.A. Academic Press, cap. 13, p. 301-313.
- GRÀCIA, C.A. 2006. «El Bosc de Poblet i el repte del Canvi Climàtic». *2es Jornades sobre el Bosc de Poblet i les Muntanyes de Prades*, p. 221-243.
- GRÀCIA, C.; BURRIEL, J.A.; MATA, T.; VAYREDA, J. (2004). *Inventari ecològic i forestal de Catalunya*. CREAF (10 volums).
- GRÀCIA, C.; PLA, E.; SÁNCHEZ, A.; SABATÉ, S. (2004). «Gotilwa+: Un modelo de crecimiento forestal basado en procesos ecofisiológicos». *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 18, p. 21-28.
- GRÀCIA, C.A.; SABATÉ, S.; LÓPEZ, B.; SÁNCHEZ, A. (2001). «Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión y cambio global». *Symposium de la SEET (Sociedad Española de Ecología Terrestre)*, Granada, febrer del 2000.
- GRÀCIA, C.A.; SABATÉ, S.; MARTÍNEZ, J.M.; ALBEZA, E. (1999). «Functional responses to thinning». A: RODÀ, F.; RETANA, J.; GRÀCIA, C.; BELLOT, J. (eds.) *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. Ecological Studies* 137; Heidelberg: Springer-Verlag, p. 329-338.
- GRÀCIA, C.A.; SABATÉ, S.; SÁNCHEZ, A. (2002). «El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo». *Ecosistemas* 2. <<http://www.aet.org/ecosistemas/022/investigacion4.htm>>
- GRÀCIA, C.; SABATÉ S.; TELLO, E. (1997). «Modelling the response to climate change of Mediterranean forest managed at different thinning intensities: effects on growth and water fluxes». A: MOHREN, G.M.J.; KRAMER, K.; SABATÉ, S. (eds.). *Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 243-252.
- GRÀCIA, C.A.; TELLO, E.; SABATÉ S. [et al.] (1999b). «GOTILWA: An integrated model of water dynamics and forest growth». A: RODÀ, F.; RETANA, J.; GRÀCIA, C.; BELLOT, J. (eds.). *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. Ecological Studies* 137; Heidelberg: Springer-Verlag, p. 163-179.
- GUO, L.B.; GIFFORD, R.M. (2002). «Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis». *Global Change Biology* 8, p. 345-360.
- HARKER, D.; LIBBY, G.; HARKER, K.; EVANS, S. (1999). *Landscape restoration*. USGA edit.
- HOOPER, D.U.; CHAPIN, F.S.; EWEL, J.J. [et al.] (2005). «Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge». *Ecological Monographs* 75, p. 3-35.

- HOUGHTON, A.J.T.; YIHUI, D. [et al.] (eds.) (2001). *IPCC. The Scientific Basis. Third Assessment Report of Working Group I*; Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- IDESCAT (INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA). <<http://www.idescat.cat/dequavi?TC=444&V0=11&V1=9>> (accés de 2009).
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (2002). *Valores normales y estadísticos de observatorios meteorológicos principales (1971-2000)*. Vols. 1-5.
- INSTITUTO NACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (1986-1995). *Segundo Inventario Forestal Nacional*. Obra Completa. Madrid
- JANSSENS, MAK; GABA, V.; GREENBERG, B. «Higher plants and UV-B radiation: Balancing damage, repair and acclimation». *Trends in Plant Science* 4: 131-135.
- KEENAN, T.; GARCÍA, R.; SABATÉ S.; GRÀCIA, C. (2007). «Process based forest modeling: a thorough validation and future prospects for mediterranean forests in a changing world». *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 23: 81-92 pp.
- KEENAN, T.; SABATÉ, S.; GRÀCIA, C. (2007). *Forest Eco-physiological models and Carbon sequestration*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- KRAMER, K.; LEINONEN, I.; BARTELINK, H.H. [et. al.] (2002). «Evaluation of 6 process-based forest growth models based on eddy-covariance measurements of CO₂ and H₂O fluxes at 6 forest sites in Europe». *Global Change Biology*, 8, p. 213-230
- LE QUÉRÉ, C.; RAUPACH, R.; CANADELL, J. [et. al.] (2009). «Trends in the sources and sinks of carbon dioxide». *Nature Geoscience* 2, p. 831-836.
- LLURBA, R.; DE LAMO, X.; CUADROS, M. [et al.] 2008. «Biodiversity and ecosystem services in mountain grasslands: a case study in the Planes de Son (Central Pyrenees)». *Grassland Science in Europe* 13, p. 132-134.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S.; RUIZ, I.; GRÀCIA, C. (1997). «Effects of elevated CO₂ and decreased water availability on holm oak seedlings in controlled environment chambers». A: MOHREN, G.M.J.; KRAMER, K.; SABATÉ, S. *Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems*; Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 125-133.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S.; GRÀCIA, C. (1998). «Fine roots dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density». *Tree Physiology* 18, p. 601-606.
- (2001a) «Annual and seasonal changes of fine roots biomass of a *Quercus ilex* L. forest». *Plant and Soil*, 230, p. 125-134.
- (2001b) «Fine root longevity of *Quercus ilex*». *New Phytologist* 151(3), p. 437-441.
- MARKS, E.; AFLAKPUI, G.K.S.; NKEM, J. [et. al.] (2009). «Conservation of soil organic carbon, biodiversity and the provision of other ecosystem services along climatic gradients in West Africa». *Biogeosciences* 6, p. 1825-1838.
- MATEO, M.A.; ROMERO, J.; PÉREZ, M. [et al.] (1997). «Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*». *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44, p. 103-110.
- MENZEL, A.; FABIAN, P. (1999). «Growing season extended in Europe». *Nature* 397, p. 659.
- MONTERO G., RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*; Madrid: Monografías INIA (serie Forestal, 13).
- MORALES, P.; SYKES, M.T.; PRENTICE, I. [et. al.] (2005). «Comparing and evaluating process-based ecosystem model predictions of carbon and water fluxes in major European forest Biomes». *Global Change Biology* 11, p. 2211-2233, DOI 10.1111/j.1365-2486.2005.01036.x
- OGAYA, R.; PEÑUELAS, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MANGIRÓN, M. (2002). «Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain». *Forest Ecol. Manag.*
- PALAU, A.; ALONSO, M. (2008). *Embalses y Cambio Climático*. ENDESA. Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 46 p.
- PARRY, M.; PARRY, C.; LIVERMORE, M. (eds.) (2000). *Valoración de los efectos potenciales del cambio climático en Europa* (Informe ACACIA de la Comisión Europea, Resumen y conclusiones). Toledo: Universidad de Castilla-La Mancha-Iberdrola, 29 p.
- PASSIOURA, J.B. (1982). «Water in the soil-plant-atmosphere continuum». A: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. (eds.). «Physiological Plant Ecology II, Water relations and carbon assimilation». *Encyclopedia of Plant Physiology, New series*, vol. 12B; Berlin: Springer-Verlag, p. 5-33.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. (2002). «Biome shift in the Montseny mountains in response to climate change». *Global Change Biology*, (en revisió).
- PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LLORET, F. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change* 38: 345-357.

- ROMERO, J.; PÉREZ, M.; MATEO, M.A.; SALA, E. (1994). «The belowground organs of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* as a biogeochemical sink». *Aquatic Botany* 47, p. 13-19.
- ROSA, L.P.; SIKAR, B.M.; SIKAR, E.M.; SANTOS, M.A. (1997). «A model for CH₄ and CO₂ emission mean life in reservoir based on data from an Amazonian hydroplan». A: ROSA, L.P.; SANTOS, M.A. (eds.) *Hydropower plants and greenhouse gas emissions*. COPPE.
- ROSA, L.P.; MATVIENKO, B.; SANTOS, M.A.; SIKAR, E. (1999). *Relatório Eletrobrás/Fundação Coppetec. Inventário das emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas*. COPPE report to Eletrobras.
- ROSENZWIEG, C.; TUBIELLO, F.N. (1997). «Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: current methodologies and future directions. An introductory essay». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1 (3), p. 219-232.
- SABATÉ S.; GRÀCIA, C.A.; SÁNCHEZ A. (2002). «Likely effects of Climate Change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean Region». *Forest Ecology and Management*, 162, p. 23-37.
- SABATÉ, S.; GRÀCIA, C.; PLA, E. [et al.] (2004). «Aplicación del modelo GOTILWA+ al análisis de los efectos del Cambio Climático y la Gestión Forestal en el Balance de Carbono y Agua en los Bosques». *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 18, p. 13-20.
- SABINE, C.L. [et al.] (2004). «The oceanic sink for anthropogenic CO₂». *Science* 305, p. 367-371.
- SALA, O.E.; CHAPIN, F.S.; ARMESTO, J.J. [et al.] (2000). «Biodiversity-Global biodiversity scenarios for the year 2100». *Science* 287, p. 1770-1774.
- SALADIÉ, O.; BRUNET, M.; AGUILAR, E. [et al.] (2006). «Análisis de la tendencia de la precipitación de primavera en la cuenca del Pirineo Oriental durante el periodo 1896-2003». *V Congreso de la Asociación Española de Climatología*, 5, Zaragoza, p. 475-485.
- (2007). *Creación de la base de datos de precipitación mensual ajustada del Sector Nororiental de la Península Ibérica (1850-2000)*; Tarragona: Universitat Rovira i Virgili.
- SAVÉ, R. (2009). «What is stress and how to deal with ornamental plants?». *Acta Horticulturae* 813, p. 241-254.
- SAVÉ, R.; SABATÉ S.; DE HERRALDE, F. [et al.] (2009). «Could be the root system of cultured plants an important carbon sink under global change conditions?». *Proc. 8th International carbon dioxide conference*; Jena.
- SAVÉ, R.; COMAS, J.; GARCIA, P. [et al.] (2008). «Inter-relationship between insects and leaves of some ruderal plants». *Proc. Biotic Plant Interaction Conference. 27-29 March 2008 in Brisbane*; Brisbane.
- SCHULTZ, H.R. (2007). «¿Cómo puede afectar el clima a la viticultura en Europa?». *Revista de enología*.
- SEBASTIÀ M.T. (2007). «Plant guilds drive biomass response to global warming and water availability in subalpine grassland». *Journal of Applied Ecology* 44, p. 158-167.
- SEBASTIÀ, M.T.; DE BELLO, F.; PUIG, L.; TAUILL, M. (2008a). «Grazing as a factor structuring grasslands in the Pyrenees. *Applied Vegetation Science*, 11, 215-223.
- SEBASTIÀ, M.T.; CANALS, R.M.; MARKS, E.; LLURBA, R. (2008b). «Low-intensity livestock systems in Europe: an opportunity for quality products, recreation revenues and environmental conservation». *Grassland Science in Europe* 13, p. 892-901.
- SHEFFIELD, J.; WOOD, E.F. (2008). «Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multiscenario, IPCC AR4 simulations». *Clim. Dyn.* 31, p. 79-105.
- SMITH, J.; SMITH, P.; WATTENBACH, M. [et al.] (2005). «Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990 – 2080». *Global Change Biology* 11 (12), p. 2141.
- SMITH, P.; CHAPMAN, S.J.; SCOTT, W.A. [et al.] (2007). «Climate change cannot be entirely responsible for soil carbon loss observed in England and Wales, 1978-2003». *Global Change Biology* 13, p. 2605-2609.
- SOLOMON S.; QIN, D.; MANNING, M. [et al.] (eds.) (2007). *IPCC. The Physical Science Basis. Fourth Assessment Report of Working Group I*; Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- SOUSSANA, J.F.; FUHRER, J.; JONES, M.; VAN AMSTEL A. (2007). «The greenhouse gas balance of grasslands in Europe». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121, p. 1-4.
- TAKAHASHI, T. [et al.] (2009). «Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans». *Deep Sea Research* 56, p. 554-577.
- TERRADAS, J.; SAVÉ, R. (1992). «Summer-winter double stress and water relationships as clue factors in the distribution of *Quercus ilex* L». *Vegetatio* 99-100, p. 137-145.
- THERRIEN, J. [et al.] (2005). *CO₂ Emissions from Semi-Arid Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems*. A: TREMBLAY [et al.] (2005).

- TUBIELLO, FN; AMTHOR, J.A. [et al.] (2007). «Crop response to elevated CO₂ and world food supply». *European Journal of Agronomy*, 26(3), p. 215–223
- TREMBLAY [et al.] (2005). *GHG Emissions from Boreal Reservoirs and Natural Aquatic ecosystems*.
- VALENTINI, R., MATTEUCCI, G.; DOLMAN, A.J. (2000). «Respiration as the main determinant of carbon balance in European forest». *Nature* 404, p. 861-865.
- VIDAL, M.; VILA, G.; EMELIANOV, M. [et al.] (2007). Nutrient distribution during the spring bloom following the unusual winter 2005 deep mixing event in NW Mediterranean. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, 15-20 April 2007.
- WATSON, ROBERT; ZINYOWERA, T.; MARUFU C. [et al.] *The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability*. New York: Cambridge University Press, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1998.
- WOHLFAHRT G.; ANDERSON-DUNN, M.; BAHNN M. [et al.] 2008. «Biotic, abiotic, and management controls on the net ecosystem CO₂ exchange of european mountain grassland ecosystems». *Ecosystems* 11, p. 1338–1351.

6. Projeccions i escenaris de futur

**Josep Calbó Angrill¹, Arturo Sánchez-Lorenzo², Jordi Cunillera³
i Antoni Barrera-Escoda³**

¹ Universitat de Girona

² Parc Científic de Barcelona

³ Servei Meteorològic de Catalunya

Josep Calbó i Angrill (Barcelona, 1965) és llicenciat en Ciències Físiques per la UB (1988) i doctor en Ciències per la UPC (1993). Ha estat investigador post-doctoral a l'Institut de Tecnologia de Massachussets (MIT, EUA), i investigador visitant en institucions dels Estats Units, Austràlia i Nova Zelanda. Actualment és professor titular del Departament de Física de la Universitat de Girona. Ha estat director de l'Institut de Medi Ambient de la UdG (2000-2003), i ha dirigit el programa de doctorat i el màster en Medi Ambient en aquesta universitat. Forma part del Grup de Física Ambiental, i centra la seva recerca en la radiació a l'atmosfera, i les seves interaccions amb la nuvolositat, en el marc de la problemàtica actual del canvi climàtic. Ha publicat uns 30 articles en revistes científiques, més de 20 capítols de llibres, i ha presentat més de 50 comunicacions en congressos internacionals.

Arturo Sánchez Lorenzo és doctor en Geografia per la Universitat de Barcelona (2009) amb una tesi doctoral sobre climatologia i tendències de la radiació solar i nuvolositat a la península ibèrica. Ha estat investigador visitant al *National Center for Atmospheric Research* (Boulder, EUA) i a l'*Institut of Atmospheric Sciences and Climate* (Bolonya, Itàlia). Actualment és investigador contractat al Parc Científic de Barcelona (2009-2010) lligat a un projecte de reconstrucció climàtica. El setembre del 2010 ha començat una estada post-doctoral a l'*Institute for Atmospheric and Climate Science* (ETH, Zúrich).

Jordi Cunillera i Grañó (Barcelona, 1966) és doctor en Ciències Físiques per la Universitat de Barcelona. L'any 1994 es va incorporar al Servei de Protecció de l'Ambient Atmosfèric del Departament de Medi Ambient (Generalitat de Catalunya), i posteriorment es va incorporar al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). Actualment és el Cap de l'Àrea de Recerca Aplicada i Modelització de l'SMC. Ha treballat en diferents camps de la meteorologia i la climatologia, tant en l'àmbit més operatiu d'aquestes matèries com en l'àmbit de la recerca bàsica i aplicada, tot i que ara està centrant els seus treballs en la modelització numèrica mesoescalar del temps i la seva aplicació, tant en la predicció a curt i mitjà termini, com en les projeccions climàtiques.

Antoni Barrera-Escoda Doctor en Física per la Universitat de Barcelona el 2008, treballa actualment al Servei Meteorològic de Catalunya com a investigador en recerca i modelització climàtiques. La seva investigació s'ha basat principalment en l'anàlisi i la modelització regional dels extrems hídrics (inundacions i sequeres) a Catalunya en els últims 500 anys. Recentment està desenvolupant la generació d'escenaris climàtics futurs regionalitzats a Catalunya durant el segle XXI. Ha participat i participa en diferents projectes, tant d'àmbit estatal com europeu, sobre variabilitat climàtica, canvi climàtic i desastres naturals d'origen meteorològic a la Mediterrània Occidental.

Resum	187
6.1. Introducció. El 4t informe de l'IPCC	189
6.2. Models i projeccions globals	190
6.2.1. Simulant el clima futur: els models de circulació general	190
6.2.2. Els escenaris d'emissions	194
6.2.3. Projeccions climàtiques a escala global	196
6.2.4. Projeccions climàtiques a escala continental: la regió mediterrània	197
6.2.4.1. Temperatura	198
6.2.4.2. Precipitació	200
6.2.5. Resum i comentari sobre les incerteses	201
6.3. Regionalització i escenaris per a Catalunya	202
6.3.1. Tècniques de regionalització (<i>downscaling</i>)	202
6.3.2. El projecte PRUDENCE	204
6.3.2.1. Descripció de la metodologia	204
6.3.2.2. Resultats	205
6.3.3. Els escenaris climàtics desenvolupats per l'AEMET	208
6.3.3.1. Metodologia	208
6.3.3.2. Resultats (península ibèrica i Catalunya)	209
6.3.4. El projecte ENSEMBLES	212
6.3.4.1. Descripció del projecte	212
6.3.4.2. Metodologia d'anàlisi	214
6.3.4.3. Resultats per a Catalunya	215
6.3.5. Les projeccions del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)	221
6.3.5.1. El que diuen els models climàtics globals	221
6.3.5.2. Regionalització climàtica amb un model d'alta resolució	221
6.3.5.3. Resultats de les projeccions climàtiques regionalitzades	226
6.4. Resum de les projeccions del clima futur per a Catalunya	232
6.5. Conclusions	234
Referències	235

Resum

El quart informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC), fet públic a finals de l'any 2007, afirma que el clima de la Terra està canviant actualment d'una manera que no té precedents coneguts. El canvi climàtic contemporani es qualifica d'inequívoc, i la causa, en són si més no en una part força significativa, les emissions antropogèniques de gasos amb efecte d'hivernacle. El canvi climàtic recent és un fenomen d'escala global, planetària, encara que, com és lògic, es reflecteix també a escala local, en aquest cas a Catalunya.

La publicació d'aquest quart informe de l'IPCC, juntament amb la gran quantitat de resultats de la recerca desenvolupada els darrers anys en relació amb la regionalització de les projeccions climàtiques, impulsa la necessitat d'actualitzar l'informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Concretament, el nou informe de l'IPCC conté noves projeccions climàtiques d'escala global i continental, mentre que diversos projectes internacionals (especialment els projectes europeus PRUDENCE i ENSEMBLES) han produït projeccions climàtiques a escala subcontinental, és a dir, que permeten discriminar entre regions europees. A l'Estat espanyol, alguns d'aquests resultats han estat recollits en un document elaborat per encàrrec de l'Agència Estatal de Meteorologia. A més, a Catalunya mateix s'estan desenvolupant algunes iniciatives (en particular, al Servei Meteorològic de Catalunya) per aconseguir projeccions climàtiques a escala del nostre país.

Es scenaris climàtics futurs que hom preveu per a la Terra en conjunt i per a Catalunya en particular descriuen les diverses possibilitats sobre quin pot ser el clima en les properes dècades, atenent a les incerteses de les projeccions, les quals són degudes a la complexitat del sistema climàtic i augmenten considerablement quan reduïm l'escala espacial de la projecció climàtica i quan n'allarguem l'horitzó temporal. Majoritàriament s'han publicat projeccions relatives a finals del present segle, i centrades en les dues principals variables climàtiques (la temperatura i la precipitació), i hi ha pocs treballs sobre

altres variables climàtiques i per a horitzons temporals més propers. No obstant, cada cop més es detecta una necessitat de definir escenaris climàtics per a les properes dècades, escenaris que haurien de presentar una incertesa menor.

La modelització climàtica d'abast global, mitjançant els models de circulació general atmosfèrica i oceànica, continua essent l'eina més utilitzada i fiable per realitzar projeccions del clima futur. Aquests models globals, que incorporen el coneixement científic actual del sistema climàtic, cada cop són més sofisticats (en el sentit que incorporen més elements i fenòmens) però es continuen aplicant amb resolucions del tot insuficients si es desitja tenir detall regional o local dels canvis projectats. A més, les diverses parametritzacions que cal incloure per als fenòmens d'escala inferior a la malla de treball provoquen diferències entre models i incertesa en les projeccions. Les incerteses associades a la baixa resolució dels models globals afecten més a territoris, com el català, amb alta complexitat geogràfica (interacció terra-mar, orografia complexa) i climàtica (la variabilitat intrínseca d'un clima mediterrani). En tot cas, hi ha diverses metodologies per tal d'obtenir projeccions climàtiques amb un detall més proper al que necessiten els gestors que han de prendre decisions relatives a l'adaptació als possibles impactes del clima futur. Aquests mètodes de regionalització, però, siguin estadístics o dinàmics, parteixen sempre dels resultats de les simulacions globals.

Encara que alguns científics advoquen per generar nous escenaris d'emissions, en particular els que puguin resultar de l'aplicació de mesures de mitigació, totes les projeccions climàtiques encara s'efectuen actualment amb els escenaris del SRES de l'any 2000; en particular, s'acostumen a utilitzar preferentment escenaris alts en emissions (com l'A2 o l'A1B) i algun de més baix en emissions (B1). Aquests escenaris d'emissions són força especulatius, en el sentit que es basen en estimacions de creixement econòmic i demogràfic, i en evolucions tecnològiques, que són incertes. Nogensmenys, l'ús de diversos escenaris

compensa el desconeixement de l'evolució futura de les variables socioeconòmiques, i explica que les projeccions climàtiques sempre es donin en forma de rangs de valors.

El reconeixement de la existència d'incerteses en les projeccions no ha de ser excusa per no reconèixer aquells trets climàtics que, si més no segons els coneixements científics actuals, han de caracteritzar el futur; per tant, cal utilitzar les millors projeccions disponibles en la planificació socioeconòmica en general, i sobretot, en la implementació de mesures de mitigació i adaptació.

A Catalunya, en els propers anys (fins al 2020), la temperatura tendirà a augmentar, com ja ho ha fet en els darrers anys, i podria ser 0,5 °C més alta que la mitjana de finals del segle xx. La precipitació podria començar a disminuir (fins a un 10% de mitjana anual), especialment a la primavera i la tardor, i de forma una mica més marcada, a l'àrea del Pirineu. Per a mitjans del segle XXI, diversos treballs (especialment els del projecte ENSEMBLES, els de l'AEMET i els de l'SMC) indiquen que la temperatura podria arribar a pujar fins gairebé 2 °C respecte a la de finals del segle xx. Aquests augments serien, probablement, més alts a l'estiu que a l'hivern, i una mica menors a la primavera; serien generals en tot el territori però menys acusats a les zones litorals. Les precipitacions, en canvi, no haurien de canviar gaire. La distribució estacional i territorial d'aquest descens

és força incerta: diferents tècniques i escenaris donen resultats diferents. Finalment, cap a finals del segle XXI la temperatura podria ser fins uns 5 °C més alta que la de finals del segle passat, mentre que la precipitació mitjana anual podria haver disminuït en més d'un 10%. Els augments de temperatura serien més elevats a l'estiu i a les àrees més allunyades de la costa. Les precipitacions disminuirien especialment durant l'estiu, mentre que podrien fins i tot augmentar a l'hivern en zones de muntanya com ara el Pirineu.

En relació amb la variabilitat temporal del clima, diversos resultats semblen indicar un possible reforçament, tant pel que fa a les temperatures com a les precipitacions. Aquesta major variabilitat ja s'insinua en l'informe de l'IPCC, i es deriva també de diversos treballs desenvolupats sobre les modelitzacions del projecte PRUDENCE. Les simulacions realitzades pel Servei Meteorològic de Catalunya confirmen un possible augment de la variabilitat interanual. Pel que fa als possibles canvis en els fenòmens extrems, és fa difícil afirmar res, atesa la incertesa existent que es reflecteix en resultats fins i tot contradictoris. Només l'increment de les onades de calor (freqüència i intensitat) sembla estar assegurat, així com els períodes de dies seguits sense precipitació, és a dir, les sequeres; les pluges més intenses no es descarten, però encara no hi ha una gran unanimitat sobre aquesta possibilitat.

6.1. Introducció. El 4t informe de l'IPCC

El darrer informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC, o GIECC en català), establert per l'Organització de les Nacions Unides i l'Organització Meteorològica Mundial per assessorar els governs sobre la temàtica del canvi climàtic, afirma que el clima de la Terra està canviant actualment d'una manera que no té precedents coneguts. Aquest canvi és conseqüència, almenys en part, de l'emissió a l'atmosfera, com a resultat de les activitats humanes, de diversos gasos amb efecte d'hivernacle (és a dir, que absorbeixen radiació infraroja). Així, en aquest darrer informe, el quart des que es va organitzar el grup d'experts, els adjectius «inequívoc» per al canvi climàtic, i «antropogènic» per a les seves causes, són emprats sense matisos, a diferència del que passava en informes anteriors (IPCC, 2007). Aquest canvi climàtic recent és un fenomen a escala global, planetària, encara que, com és lògic, es reflecteix també a escala local, en aquest cas, a Catalunya.

És, precisament, la publicació d'aquest quart informe de l'IPCC (que sovint s'anomena AR4, de l'anglès 'Assessment Report 4') una de les raons que motiven el nou informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, que conté el present capítol. En efecte, en el capítol 6 del primer «Informe del Canvi Climàtic a Catalunya» (PICCC) s'efectuava una projecció del clima futur a Catalunya, sobre la base de treballs publicats abans del 2003 i, especialment, a partir del tercer informe de l'IPCC (Calbó, 2005). Per tant, havent passat ja més de quatre anys, i atenent a la gran activitat científica en el camp de les projeccions climàtiques regionals, i sobretot considerant l'existència del nou informe de l'IPCC, es lògic el fet de plantejar-se una actualització sobre l'estat del coneixement pel que fa a quin pot ser el clima a Catalunya en les properes dècades.

Així, en aquest capítol es presentaran quins són els escenaris climàtics futurs que hom preveu per a la Terra en conjunt i per a Catalunya en especial. Els escenaris que es presentaran són el resultat de la revisió de treballs científics prèviament publicats, en particular els més recents, de l'anàlisi i síntesi d'aquestes publicacions, i també

de resultats, fins i tot no publicats, de la recerca dedicada a projeccions climàtiques que s'està desenvolupant en el nostre entorn i a Catalunya en particular. El terme «escenaris» s'entén en el sentit que hi ha diverses possibilitats sobre quin pot ser el clima en les properes dècades, atenent a les incerteses de les projeccions, que són degudes, almenys en part, a la complexitat del sistema climàtic (i que augmenten considerablement quan reduïm l'escala espacial de la projecció climàtica i quan allarguem l'horitzó temporal). L'adjectiu «climàtics» vol indicar, òbviament, que l'objectiu és arribar a una certa descripció del clima. Malauradament, aquesta descripció quedarà limitada bàsicament a les dues principals variables climàtiques (la temperatura i la precipitació), ja que hi ha pocs (o cap) treball sobre altres variables climàtiques. Es parlarà sobretot dels valors mitjans, encara que també es farà algun esment a la variabilitat i als extrems, ja que el nombre de treballs en aquest darrer sentit (sobre els extrems climàtics) està augmentant contínuament, atès el seu interès pel que fa als riscos climàtics associats. Quan parlem de «futur», ens referirem als propers decennis, i en la major part de casos, a la part final de l'actual segle XXI (2070-2100) encara que també es faran projeccions a un termini més curt (primer terç, o meitat de segle) atès el seu interès i la menor, tot i que encara notable, incertesa. Finalment, l'objectiu és definir els escenaris climàtics per a Catalunya, però donat que això és molt complicat perquè la major part de treballs publicats fan referència a escales força més grans (el conjunt d'Europa, per exemple, o la regió mediterrània), en aquest capítol començarem presentant una visió més global.

La presentació oficial de l'AR4 es va fer el mes de novembre de 2007 després d'una reunió dels experts i els governs representats a l'Organització de les Nacions Unides, que va tenir lloc a València. Anteriorment, però, ja s'havien publicat els tres volums corresponents als tres grups de treball de l'IPCC. Per als objectius del present capítol, ens hem centrat en l'anàlisi del volum corresponent al Grup de treball I, sobre «Les bases físiques» [de la ciència del canvi climàtic]; con-

cretant encara una mica més, dins d'aquest volum són especialment interessants, per al tema que ens ocupa, els capítols 10, sobre les projeccions climàtiques a escala global (Meehl *et al.*, 2007), i 11, sobre les projeccions climàtiques regionals (Christensen *et al.*, 2007).

Aquest capítol reproduceix parcialment diverses publicacions recents que compten amb l'autoria o participació del primer autor. Aquí, però, es donen més detalls, s'actualitzen i es completen aquelles publicacions. A banda dels treballs publicats (Calbó, 2009a; Calbó, 2009b, Calbó *et al.*, 2009; Calbó, 2009c) cal esmentar també, i de manera especial, un informe intern del grup d'experts en el canvi climàtic a Catalunya (Calbó i Rel, 2008) que es va elaborar anteriorment a aquest capítol del SICCC.

En l'estructura d'aquest capítol es distingeixen clarament dues parts. En la primera (apartat 6.2), l'atenció se centra a presentar els models climàtics d'abast global i les projeccions que s'obtenen emprant directament aquests models. En aquest sentit, s'hi indiquen les grans tendències del clima futur per al conjunt del globus, i es passa a continuació a l'escala continental, concretant aquestes tendències per a la regió de la Mediterrània. En la segona part (apartat 6.3), es presenten diversos projectes i treballs encaminats a augmentar la resolució espacial de les projeccions, és a dir, al que s'anomena la disminució d'escala o regionalització ('downscaling' en anglès). Així, es presenta el projecte europeu Prudence i alguns dels seus resultats; el recent informe elaborat per l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET); una anàlisi pròpia efectuada sobre la base de les simulacions realitzades en el marc d'un altre projecte europeu, l'Ensembles; i finalment, els resultats d'unes simulacions climàtiques d'escala regional desenvolupades pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). A continuació, en l'apartat 6.4, es fa una síntesi de tots els resultats presentats anteriorment, que es concreta en tres taules en què es mostren rangs de variació futura de la temperatura i la precipitació en tres finestres temporals: a principi, meitat i final del segle XXI. Finalment, en les conclusions (apartat 6.5) es destaquen els aspectes més interessants, tant metodològics o conceptuals com dels mateixos resultats ja presentats.

6.2. Models i projeccions globals

6.2.1. Simulant el clima futur: els models de circulació general

Les projeccions climàtiques s'obtenen majoritàriament com a resultat de la utilització dels models climàtics. Aquests es poden entendre com eines que integren el coneixement actual del sistema climàtic, de manera que utilitzant com a dades d'entrada els factors que afecten (o «forcen») el sistema, obtenen com a resultat el clima que cal esperar en un període futur (McGuffie i Henderson-Sellers, 1990). Pel que fa a aquestes dades d'entrada, que representen la principal incertesa en les projeccions climàtiques, hom parla d'escenaris d'emissions. Els escenaris d'emissions seran tractats en l'apartat següent.

Encara que hi ha models climàtics de diversos tipus, cal esmentar de forma preferent els anomenats Models Acoblats de Circulació General Atmosfèrica i Oceànica (AOGCM). Els AOGCM són, en realitat, codis informàtics que resolen un conjunt d'equacions (les equacions matemàtiques que descriuen la física i la química dels processos que tenen lloc a l'atmosfera, l'oceà, la hidrosfera, la criosfera i la superfície terrestre o litosfera), per a la qual cosa han d'emprar una malla per fer els càlculs. La resolució (és a dir, la mida de les quadrícules d'aquesta malla) és una de les diferències que hi ha entre els diversos models de què disposa la comunitat científica, encara que la major part, a hores d'ara, no treballen amb resolucions inferiors a alguns graus de latitud i longitud. Altres diferències entre els models provenen del que s'anomena les parametritzacions, és a dir, el tractament simplificat que es fa dels fenòmens que no són descrits explícitament per les equacions principals del model. Com a exemples d'aquestes parametritzacions, tenim, entre molts d'altres, el tractament de la formació de núvols convectius i de la precipitació, la descripció de la transferència radiativa a l'atmosfera, o la forma de tractar la barreja oceànica. Així doncs, atès que els diversos models són lleugerament diferents, és comprensible que els seus resultats, les projeccions del clima futur, també ho siguin.

A l'AR4 s'afirma que els models AOGCM han progressat en els darrers anys (Randall *et al.*,

2007). Tot i això, es pot dir que no han experimentat canvis realment significatius en els anys transcorreguts entre el tercer i el quart informe de l'IPCC. En efecte, com es pot observar a la taula 1, els models que s'han emprat per arribar a les conclusions d'aquest darrer informe (AR4) són bàsicament els mateixos que en l'informe anterior, i s'han executat emprant resolucions molt semblants (encara que en alguns casos es tracta de versions més avançades, en què s'ha millorat alguna parametrització, s'ha afegit algun component del sistema climàtic, etc.). El debat sobre la necessitat de millorar els models climàtics i les seves prediccions és, doncs, ben present a la comunitat científica (Goddard i Baethgen, 2009). Així, els models globals segueixen sent força limitats a l'hora de fer projeccions climàtiques a escales regionals de la mida de Catalunya. No obstant això, hi ha treballs que es basen en les sortides dels models globals per donar resultats per a la zona mediterrània (Christensen *et al.*, 2007; Giorgi i Lionello, 2008) o per a la península ibèrica (Brunet *et al.*, 2009); aquests treballs seran resumits més endavant en aquest mateix capítol. Igualment, es reconeix que els models AOGCM presenten limitacions per simular els fenòmens extrems (onades de calor, sequera, pluges torrencials, etc.) degut principalment a les parametritzacions que utilitzen i a la baixa resolució que tenen, i que és contradictòria amb el caràcter local de molts d'aquests fenòmens (Sanchez *et al.*, 2004).

Un conjunt de fenòmens molt importants que cal considerar en els models climàtics són les anomenades retroaccions. Aquests processos poden amplificar o reduir la resposta del sistema climàtic a un determinat forçament, i alguns d'ells es comprenen només parcialment o qualitativament però encara no es poden reproduir quantitativament. El principal mecanisme de retroacció positiu és el del vapor d'aigua: quan la temperatura augmenta, també ho fa el contingut de vapor a la troposfera, i comporta el corresponent augment de l'efecte d'hivernacle. Aquest mecanisme s'entén millor ara que en informes anteriors de l'IPCC, i està més ben representat en els models climàtics. En canvi, els processos de retroacció en què intervenen els núvols (alguns d'aquests processos estan també influïts pels ae-

rosols) segueixen representant la principal font d'incertesa en les simulacions. Cal afegir aquí que les emissions antropogèniques directes de vapor d'aigua són negligibles pel que fa al forçament radiatiu que hi afegeixen.

Altres mecanismes semblants que encara requereixen més coneixement són per exemple el del cicle del carboni i el de transport de calor cap als oceans. El primer consisteix en la reducció de la capacitat d'absorció de CO_2 per part dels oceans i els ecosistemes continentals amb l'augment de temperatura. La importància d'aquesta retroacció positiva difereix molt entre els diversos models. El segon es refereix a la capacitat calorífica, inèrcia tèrmica i ritme amb què els oceans podran transportar la calor des de les capes superficials cap a les capes de gran fondària. Això influeix en les projeccions de l'escalfament global, i també, lògicament, en la de l'augment del nivell del mar. En aquesta darrera també hi ha la incertesa del comportament de les grans masses de gel continental de Groenlàndia i l'Antàrtida. Precisament, el comportament del gel de Groenlàndia podria influir, en gran mesura, en la circulació oceànica global.

Aquestes i d'altres incerteses expliquen la diversitat de valors del que s'anomena la sensibilitat climàtica en equilibri, que és una mesura de la resposta del sistema climàtic a un forçament radiatiu. Concretament, es tracta de l'augment de temperatura associat a una hipotètica duplicació de la concentració de CO_2 . Actualment, els diversos models indiquen que aquesta sensibilitat és molt probablement en el rang $[1,9-4,4\text{ }^\circ\text{C}]$, en què la millor estimació és $2,9\text{ }^\circ\text{C}$, i en què es descarten gairebé totalment els valors inferiors a $1,5\text{ }^\circ\text{C}$. Sigui com sigui, s'observa que les divergències entre models són encara importants. En això rau l'interès d'emprar diversos models de forma agregada a l'hora de presentar les projeccions corresponents a futurs escenaris climàtics.

Encara que, com hem dit, les projeccions més fiables solen resultar dels models AOGCM, en els estudis d'escenaris climàtics futurs també s'utilitzen altres tipus de models, com ara els models simplificats del clima (SCM) i models del sistema terrestre de complexitat mitjana (EMIC). Els primers representen el sistema oceà-atmosfera com un conjunt de caixes hemisfèriques, i empren

N	Nom del model	Centre	País	Resolució a l'atmosfera	Resolució als oceans	Model TAR
1	BCC-CM1	Beijing Climate Center	Xina	1,9° × 1,9°, L16	1,9° × 1,9°, L30	
2	BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate research	Noruega	1,9° × 1,9°, L31	0,5°-1,5° × 1,5°, L35	
3	CCSM3	National Center for Atmospheric Research	Estats Units d'Amèrica	1,4° × 1,4°, L26	0,3°-1,0° × 1,0°, L40	CSM 1.0 – CSM1.3
4	CGCM3.1(T47)	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canadà	2,8° × 2,8°, L31	1,9° × 1,9°, L29	CGM1 – CGCM2
5	CGCM3.1(T63)			1,9° × 1,9°, L31	0,9° × 1,4°, L29	
6	CNRM-CM3	Météo-France	França	1,9° × 1,9°, L45	0,5°-2,0° × 2,0°, L31	
7	CSIRO-MK3.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	Austràlia	1,9° × 1,9°, L18	0,8° × 1,9°, L31	CSIRO Mk2
8	ECHAM5/ MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology	Alemanya	1,9° × 1,9°, L31	1,5° × 1,5°, L40	ECHAM1/LSG ECHAM3/LSG ECHAM4/OPYC3
9	ECHO-G	Meteorological Institute (University of Bonn), Korea Meteorological Administration	Alemanya / Corea	3,9° × 3,9°, L19	0,5°-2,8° × 2,8°, L20	
10	FGOALS-g1.0	Institute of Atmospheric Physics	Xina	2,8° × 2,8°, L26	1,0° × 1,0°, L16	GOALS
11	GFDL-CM2.0	NASA / Geophysical Fluid Dynamics	Estats Units	2,0° × 2,5°, L24	0,3°-1,0° × 1,0°	GFDL_R15_a GFDL_R15_b
12	GFDL-CM2.1	Laboratory	d'Amèrica	2,0° × 2,5°, L24	0,3°-1,0° × 1,0°	GFDL_R30_c
13	GISS-AOM	NASA / Goddard Institute for Space Studies	Estats Units d'Amèrica	3° × 4°, L12	3° × 4°, L16	GISS1 – GISS2
14	GISS-EH			4° × 5°, L20	2° × 2°, L16	
15	GISS-ER			4° × 5°, L20	4° × 5°, L13	
16	INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics	Rússia	4° × 5°, L21	2° × 2,5°, L33	
17	IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace	França	2,5° × 3,75°, L19	2° × 2°, L31	IPSL-CM
18	MIROC3.2 (hires)	Center for Climate System Research /	Japó	1,1° × 1,1°, L56	0,2° × 0,3°, L47	
19	MIROC3.2 (medres)	Frontier Research Center for Global Change		2,8° × 2,8°, L20	0,5-1,4° × 1,4°, L43	
20	MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute	Japó	2,8° × 2,8°, L30	0,5-2,0° × 2,5° L23	MR11 – MR12
21	PCM	National Center for Atmospheric Research	Estats Units d'Amèrica	2,8° × 2,8°, L26	0,5-0,7° × 1,1° L40	DOE PCM
22	UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and research /	Regne Unit	2,5° × 3,75°, L19	1,25° × 1,25°, L20	HadCM2 – HadCM3
23	UKMO-Had GEM1	MetOffice		1,3° × 1,9°, L38	0,3-1,0° × 1,0° L40	

Taula 1. Detalls dels models AOGCM utilitzats en el 4t informe de l'IPCC (Randall *et al.*, 2007), i el model corresponent emprat en el 3r informe (TAR).

NOTES: Tant la resolució atmosfèrica com la que s'utilitza en els oceans es dona en graus de latitud per graus de longitud, i són valors aproximats. Pel que fa a l'horitzontal, molts models resolen les equacions a partir de mètodes espectrals (descomposició en sèries de Fourier truncades en una determinada freqüència), i, per tant, la resolució en graus de latitud i longitud no és més que una aproximació a la resolució espectral corresponent. Pel que fa a la vertical, la xifra que segueix a la L indica el nombre de capes emprades.

l'equació de balanç energètic, un valor prescrit de la sensibilitat climàtica, i una representació senzilla de la calor transmesa cap als oceans. D'aquesta manera, poden estimar la temperatura mitjana global i l'augment de nivell del mar a causa de l'expansió tèrmica. Aquests models es poden acoblar a models dels cicles biogeoquímics i permeten una ràpida estimació de la resposta del sistema climàtic a diversos escenaris d'emissions. Per la seva banda, els EMIC (*Earth System Models of Intermediate Complexity*) incorporen la dinàmica atmosfèrica i oceànica de forma simplificada, així com una representació dels cicles biogeoquímics, encara que sempre amb una resolució espacial molt baixa. Es poden utilitzar per investigar el canvi climàtic a escala continental, i els efectes a llarg termini i de gran escala associats a les interaccions entre els diversos components del sistema climàtic, realitzant conjunts d'execucions que simulin diversos segles.

Atès que aquests tipus de models més simples no consumeixen grans recursos de càlcul, és possible provar diversos valors dels paràmetres que inclouen, tenint en compte les incerteses derivades dels models més complexos, l'acord amb les observacions, i també les opinions dels experts. D'aquesta manera, els dos tipus de models són ben adequats per generar projeccions probabilístiques del clima futur, i comparar la incertesa de la resposta que resulta de la incertesa dels paràmetres juntament amb aquella que prové de la diversitat d'escenaris d'emissions. En particular, els EMIC han estat més ben avaluats recentment, i es consideren especialment adequats per a aquest tipus d'estudis (Solomon *et al.* 2007).

Tornant als models globals tipus AOGCM, cal dir que no inclouen una bona descripció de l'orografia, ni tampoc una bona definició de la línia de costa, almenys al nivell que cal quan ens interessem pel clima en àrees regionals com Europa, la península ibèrica, o Catalunya. Òbviament, una solució a aquest problema seria incrementar la resolució dels models globals, aspecte, però, que està limitat per la potència de càlcul disponible (i també per la mateixa estructura del codi informàtic del model climàtic, que no sempre és optimitzable quan augmenta la capacitat de càlcul de l'ordinador en el qual s'exe-

cuta). Hi ha alguns exemples d'intents d'augmentar la resolució (disminuir la mida de les cel·les de la malla) d'un model global. Un dels més coneguts és el del model japonès, que ha estat executat sobre malles de menys de 50 km en un ordinador especialment dissenyat a aquest efecte, anomenat Earth Simulator (Ohfuchi *et al.*, 2005). En aquest mateix ordinador s'han arribat a integrar models amb resolucions encara més altes (uns pocs quilòmetres) però per a períodes més curts de temps. Igualment, models desenvolupats per altres institucions (com ara el del Hadley Centre) també s'han executat, amb alta resolució, en aquest ordinador. Més a prop nostre, en el Barcelona Supercomputing Center – Centro Nacional de Supercomputación s'està treballant també sobre la possibilitat d'augmentar la resolució d'un model global (Jiménez-Guerrero, 2007), concretament en el model EC-Earth, un AOGCM construït sobre la base del model de predicció estacional del ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). No obstant això, aquestes simulacions globals d'alta resolució encara requereixen un temps de càlcul excessiu per ser útils en l'anàlisi de diversos escenaris o de diverses parametritzacions. D'altra banda, també hi ha en marxa iniciatives per millorar les parametritzacions de la química atmosfèrica en els models climàtics (Doherty *et al.*, 2009).

Una altra manera de presentar els models climàtics és comparant-los amb els models meteorològics de predicció numèrica a curt i mitjà termini. De fet, els primers són, en molts casos, versions simplifiades dels darrers. Per això, s'entén que tant en un cas com en l'altre s'estigui treballant en la direcció de les simulacions probabilístiques, que tenen en compte diverses condicions inicials o de forçament, per mirar de representar la variabilitat intrínseca de l'atmosfera. De fet, aquesta mena de simulacions per conjunts, que ja es fan rutinàriament en el cas de la predicció meteorològica, són la base del projecte ENSEMBLES (vegeu l'apartat 6.3.4).

Finalment, cal fer esment a les proves a què se sotmeten els models climàtics per garantir la fiabilitat dels seus resultats. Hi ha diversos tests que els models han de superar. Típicament (Grassl, 2000), es demana a un model climàtic que res-

pongui adequadament pel que fa a la reproducció del clima actual (darreres dècades) i a la simulació dels canvis des de l'inici del període instrumental (és a dir, fa aproximadament cent anys), quan s'executa amb la corresponent història de forçaments externs (incloent-hi l'augment del CO₂ o les erupcions volcàniques). També es fan proves de representació d'una situació climàtica ben diferent del passat, derivada del registre paleoclimàtic, si s'executa amb el corresponent forçament extern d'aquell temps; i del cas que hi hagi alguna causa que pugui provocar un canvi sobtat en el clima. Sigui com sigui, són les primeres proves, que fan referència al clima present i del passat immediat, les que es consideren més importants, i, en realitat, quan es presenten projeccions climàtiques com a resultat d'un model, aquestes són les diferències entre el clima futur i el clima passat que representa el model (no el clima passat real, tot i que aquell —el clima passat simulat— ha de ser semblant a aquest —el clima passat mesurat).

6.2.2. Els escenaris d'emissions

Com ja s'ha dit, el principal factor a l'hora d'intentar predir quin pot ser el clima del futur és l'evolució de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle i dels aerosols d'origen antropogènic. Aquests són els factors que afecten el clima de manera molt important i que, a diferència d'altres, depenen gairebé exclusivament d'aspectes econòmics, socials i tecnològics vinculats a l'espècie humana. Altres factors que poden afectar el clima (com ara els canvis en la radiació emesa pel Sol) es poden incorporar en les condicions de contorn quan es poden preveure (per exemple, el cicle d'11 anys d'activitat solar), però, lògicament, això és impossible en el cas de factors totalment imprevisibles (com ara l'erupció d'un volcà). En el cas dels factors interns del sistema climàtic (per exemple, l'extensió de la coberta de gel en els pols), estan representats pels mecanismes de retroacció inclosos en els models climàtics. En definitiva, per efectuar projeccions del clima futur cal primer efectuar projeccions de les emissions de gasos i aerosols (així com també d'altres factors secundaris, com poden ser els canvis dels usos del sòl provocats per les activitats humanes).

La incertesa que hi ha sobre quina serà l'evolució futura de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i aerosols és molt gran. Les emissions depenen, entre d'altres factors, de les evolucions de la demografia, l'economia i la tecnologia. Per tant, el que es fa és assumir diverses hipòtesis relatives a aquestes evolucions, que donen lloc als anomenats diversos «escenaris» d'emissions. Els escenaris que s'han analitzat a l'IPCC AR4, són els mateixos que ja es van començar a emprar a l'anterior informe (IPCC TAR), i provenen d'un informe especial (*Special Report on Emission Scenarios*, SRES) que es va publicar l'any 2000 (Nakicenovic i Swart, 2000). En aquest informe es desenvolupen fins a una quarantena de possibles evolucions futures, amb la característica comuna a tots els escenaris que cap d'ells no inclou explícitament l'aplicació de cap acció dins del Conveni Marc pel Canvi Climàtic de les Nacions Unides, o del protocol de Kyoto. En canvi, sí que alguns dels escenaris preveuen canvis en les emissions derivats de l'aplicació de regulacions relatives a la contaminació atmosfèrica. Tots aquests escenaris es poden agrupar en quatre famílies, que corresponen a quatre línies evolutives, que s'han anomenat A1, A2, B1 i B2. Les característiques fonamentals de cadascuna d'aquestes famílies es descriuen a continuació:

A1. Es tracta de suposar un creixement econòmic ràpid, un creixement demogràfic fins al 2050 i un decreixement subseqüent, i una ràpida introducció de noves tecnologies més eficients. Suposa també convergència entre les diverses regions del planeta, entenen que això vol dir una disminució substancial de les diferències entre les rendes per càpita de les diverses zones de la Terra, que s'aconseguiria simultàniament a un augment de les relacions socials i culturals entre aquestes diverses regions. En aquest grup d'escenaris se'n poden distingir tres subgrups, segons el desenvolupament tecnològic en el camp de l'energia. Així, hom hi troba els escenaris A1FI (en què es continuarà fent ús intensiu dels combustibles fòssils), A1T (ús d'energies no basades en combustibles fòssils), i A1B (ús equilibrat de diverses fonts d'energia, incloent-hi també les basades en combustibles fòssils però acceptant millores tecnològiques en totes elles).

B1. L'evolució demogràfica suposada és la mateixa que en els escenaris A1. Tanmateix, aquí se suposen canvis ràpids en les estructures econòmiques, incloent-hi una economia basada en els serveis i la informació, la reducció en la intensitat d'ús de materials, i la introducció de tecnologies netes i eficients quant a l'ús de recursos. En aquest conjunt d'escenaris, l'aproximació al desenvolupament sostenible, que tendeix també cap a la equitat, es realitza des d'una perspectiva més aviat global.

A2. Aquesta família d'escenaris inclou els escenaris que presenten un món heterogeni (com ara el present). És a dir, les diferències en el creixement demogràfic es mantenen, implicant un creixement de població mundial sostingut. Les diferències econòmiques (renda per càpita) i tecnològiques entre diverses regions del planeta es mantenen o augmenten.

B2. Aquí, la sostenibilitat s'aproxima sota una perspectiva més aviat local o regional. La població creix continuament, però més lentament que en l'escenari A2. També el creixement econòmic i els canvis tecnològics són més lents, però, en canvi, s'orienten de més diverses maneres.

Cada família (o subfamília, en el cas de la línia evolutiva A1) agrupa un conjunt d'escenaris diferents. Tots els escenaris, fins el total de 40, són considerats en principi igualment plausibles i probables, de manera que l'informe no assigna una certesa més gran a cap d'ells. No obstant això, el mateix informe proposa un escenari de cada família (i subfamília) que podem anomenar indicatiu o il·lustratiu (*marker scenario*), que és el que s'ha utilitzat preferentment en les anàlisis posteriors.

Els valors de les emissions dels diferents escenaris indicatius, al llarg del segle XXI, es presenten a la figura 1. Tots els escenaris previstos indiquen que les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle continuaran creixent, almenys fins a la meitat del segle XXI. Cal dir, a més, que malgrat que en alguns escenaris les emissions comencen a disminuir cap a meitat de segle, la concentració d'aquests gasos a l'atmosfera continua augmentant durant algunes dècades, atès que, per exemple, l'escala de temps característica per assolir un nou equilibri en la concentració de CO₂ és d'uns 200 anys.

L'ús que es fa dels escenaris d'emissions en les simulacions presentades a l'AR4 o a altres treballs sobre projeccions climàtiques és divers. Així, a vegades s'opta per centrar l'estudi en només un o dos escenaris (per exemple, un d'intermedi com ara l'A1B, o un amb altes emissions, A2, i un amb baixes emissions, B1). També hi ha estudis que utilitzen tots els escenaris, però aleshores estan basats en models climàtics de complexitat mitjana o encara més simplificats, per tal de poder obtenir resultats en un temps raonable. L'ús de diversos escenaris és una manera d'atacar la incertesa associada al desconeixement de les futures emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, però no es pot descartar que el que passi finalment estigui fora del rang contemplat. Per exemple, alguns estudis publicats després de l'informe SRES modifiquen a la baixa les projeccions de l'augment de població. Ara bé, en general també modifiquen a l'alça el creixement econòmic (excepte per a Amèrica Llatina, Àfrica i l'Orient Mitjà), amb la qual cosa les emissions resultants són similars. Per altra banda, les estimacions de les emissions d'aerosols i els seus precursors (incloent-hi diòxid de sofre, carboni negre, i carboni orgànic) han millorat també, i en general s'estima que aquestes emissions seran inferiors a les presentades en els escenaris del SRES, fet que podria disminuir el seu efecte de refredament (IPCC, 2007).

Recentment, hom ha proposat que s'haurien de fer simulacions amb altres escenaris, en particular que tinguessin en compte les possibles accions que es puguin emprendre en un futur proper per mitigar considerablement les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, en el marc dels acords «post-Kyoto» que es puguin assolir amb l'objectiu de limitar l'augment de la temperatura a 2 °C. Així, Lowe *et al.* (2009) presenta l'escenari que anomena E1, que es desvia (amb menors emissions) de la resta d'escenaris al començament del segle XXI. Subjacent a aquest nou escenari (que encara no ha estat emprat en simulacions climàtiques) hi ha el potencial de reducció d'emissions que es deriva d'implementar polítiques ben contundents, incentius econòmics i cooperació internacional a partir de 2012. En particular, es tracta d'introduir grans canvis en el sistema energètic, mitigar les emissions d'altres

gasos amb efecte d'hivernacle (més enllà del CO_2) i aforestar. També se suposa un augment de la productivitat agrícola que fa reduir la desforestació i augmentar el potencial per a la producció energètica basada en biocombustibles. En aquest escenari, les emissions de CO_2 van disminuint per arribar a ser gairebé nul·les a finals de segle. Els autors proposen que s'utilitzi aquest escenari per comprovar si és possible assolir l'objectiu de no superar els 2°C d'augment de temperatura, considerats un llindar crític per als impactes associats.

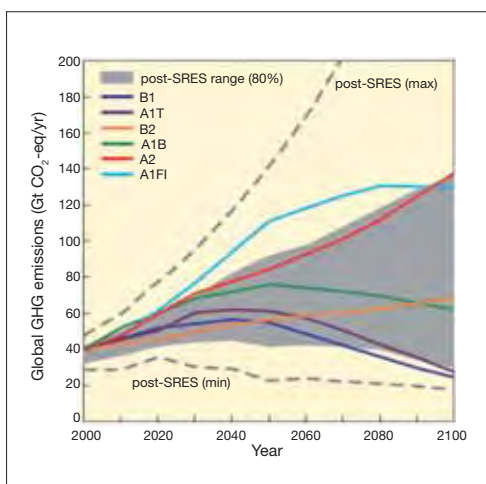


Figura 1. Les emissions anuals de gasos amb efecte d'hivernacle (en Gt de CO_2 equivalent) estimades pels diversos escenaris d'emissions, fins a l'any 2100 (IPCC, 2007).

6.2.3. Projeccions climàtiques a escala global

Totes les projeccions indiquen que com a resultat de l'augment continuat de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle, es continuarà produint un augment de la temperatura mitjana del planeta. La qüestió és, òbviament, quantificar aquest futur augment de temperatura. Cal esmentar que en el darrer segle, i en particular en les darreres dècades, la baixa atmosfera ja s'ha escalfat significativament, de manera que la temperatura mitjana a la superfície terrestre ja és com a mínim $0,5^\circ\text{C}$ més alta que la de finals del segle XIX.

A la figura 2 es mostren els augments projectats per diversos escenaris d'emissions i relatius al període 1980-1999. Cal destacar, doncs, que

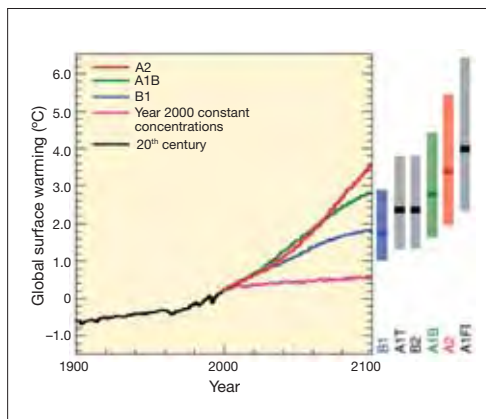


Figura 2. Evolució de la temperatura mitjana de l'aire a la superfície de la terra en el darrer segle, i la projecció per a aquest segle XXI. Les barres de la dreta mostren el rang de possibles augments de temperatura a finals de segle, sobre la base de diversos models AOGCM, així com també de models SCM i EMIC (IPCC, 2007).

per a finals del segle XXI, i depenent de l'escenari d'emissions, el rang d'augment de la temperatura mitjana (de tot el globus) és d'entre $1,1$ i $6,4^\circ\text{C}$, sent les millors estimacions per l'escenari més optimista (B1) d' $1,8^\circ\text{C}$ i la corresponent al més pessimista (A1FI), de 4°C . Aquesta informació es dona per a tots els escenaris i per a finals de segle a la taula 2. Cal també destacar que, per a les properes dècades, tots els escenaris projecten augments molt similars: per exemple, per al 2040, al voltant d' $1,2^\circ\text{C}$. Aquest augment de temperatura no serà uniforme al llarg de tota la terra. Com a patró general, podem dir que l'augment

Escenari d'emissions	Augment de temperatura ($^\circ\text{C}$)		Augment del nivell del mar (cm)
	Millor estimació	Rang probable	
B1	1,8	1,1-2,9	18-38
A1T	2,4	1,4-3,8	20-45
B2	2,4	1,4-3,8	20-43
A1B	2,8	1,7-4,4	21-48
A2	3,4	2,0-5,4	23-51
A1FI	4,0	2,4-6,4	26-59

Taula 2. Projeccions globals d'augment de la temperatura i del nivell del mar, donades com a diferències entre 2080-2099 i 1980-1999. En el cas del nivell de mar, s'ha exclòs la possibilitat de canvis dinàmics ràpids en els fluxos de gel (IPCC, 2007).

serà molt més alt que el de la mitjana a les zones de latituds altes de l'hemisferi nord, i més baix sobre els oceans, en particular sobre l'oceà Antàrtic (IPCC, 2007).

Pel que fa a la precipitació, la major part dels models indiquen un augment de la precipitació mitjana global, vinculat a un reforçament del cicle hidrològic a causa de l'augment de temperatura. Atenent, però, a la major dispersió entre models i la indubtable major heterogeneïtat espacial i temporal dels canvis de precipitació (comparant-la, en ambdós casos, amb els canvis de la temperatura), l'AR4 no dona valors mitjans globals d'aquest augment de precipitació. A grans trets (vegeu la figura 3), el conjunt de models AOGCM donen augments de precipitació a la zona intertropical i a latituds altes d'ambdós hemisferis (especialment durant els períodes hivernals corresponents), i disminucions a les àrees subtropicals.

Per la seva banda, el nivell del mar augmentarà globalment, degut principalment a dos factors: l'expansió tèrmica de l'aigua dels oceans i la fosa de geleres i superfícies cobertes de neu. Ambdós fenòmens són conseqüència de l'augment de temperatura. En el segon cas, cal indicar que l'aportació principal provindria de geleres de muntanyes o d'altres àrees fora de l'Antàrtida i de Groenlàndia. De fet, la major part de models indiquen que la massa de gel augmentarà sobre el continent antàrtic (com a conseqüència d'un significatiu increment de les precipitacions en forma de neu), mentre que la fosa de gel de Groenlàndia podria contribuir positivament a l'augment del

nivell del mar, però menys que el conjunt de la resta de geleres i superfícies nevades continentals. Depenent de l'escenari d'emissions (i dels models emprats per fer les estimacions), els increments del nivell del mar mitjà per a tot el globus oscil·len entre els 18 i els 59 cm, per a finals del segle XXI, en comparació amb el nivell actual (vegeu la taula 2). Aquest increment no seria uniforme: en algunes àrees podria ser més de 20 cm superior (per exemple, a l'oceà Àrtic) i en altres (oceà Antàrtic) podria ser 20 cm inferior (Meehl *et al.*, 2007). Malauradament, al mapa on l'AR4 reflecteix aquestes diferències regionals, el mar Mediterrani no hi és considerat, mentre que l'augment del nivell de l'oceà Atlàntic, a les nostres latituds, seria semblant a la mitjana global. Sigui com sigui, l'informe de l'IPCC reconeix que hi ha importants dificultats per realitzar una projecció de l'augment del nivell del mar, derivades de l'escassa comprensió d'alguns factors que hi influeixen. Per això, només donem rangs d'increment, i no una estimació més probable. Preocupa especialment el comportament de la massa de gel de Groenlàndia, que malgrat el que hem dit més amunt, sembla que està presentant una dinàmica de fosa molt més ràpida de l'esperada (Tedesco, 2007).

6.2.4. Projeccions climàtiques a escala continental: la regió mediterrània

Al tercer apartat del capítol 11 de l'AR4 (Christensen *et al.*, 2007) se sintetitza la informació sobre les projeccions climàtiques per a la regió

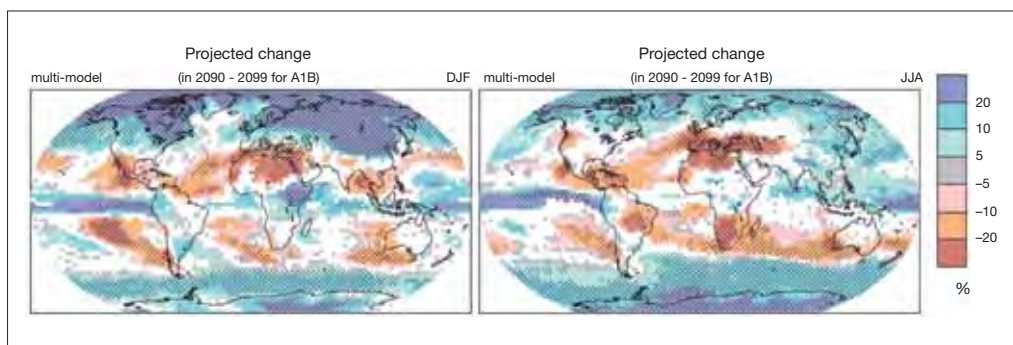


Figura 3. La projecció de la precipitació a finals del segle XXI, segons l'escenari A1B, i per a dues estacions: desembre-gener-febrer (a l'esquerra) i juny-juliol-agost (a la dreta) (Solomon *et al.*, 2007). Les àrees en què més del 90% dels models estan d'acord en la variació de la precipitació estan ombrejades amb punts, mentre que s'ha deixat en blanc els llocs on l'acord no arriba al 60% dels models.

denominada Europa i el Mediterrani. Aquesta àrea correspon a la zona definida entre els paral·lels 30° N i 75° N i els meridians 10° W i 40° E. En algun cas, es distingeix el nord d'Europa (a partir del paral·lel 48 N) del sud i la Mediterrània (per sota d'aquest paral·lel). Per tant, una lectura directa d'aquest apartat dóna indicacions interessants per definir possibles escenaris futurs per a Catalunya, i per això, en aquest apartat se'n farà una síntesi. Els resultats corresponen a les simulacions efectuades amb 21 models globals (AOGCM) inclosos en el Programa de diagnòstic i intercomparació de models climàtics (PCMDI), que donen lloc al que s'anomena «multi-model data set» (MMD). Les simulacions s'han fet per a un dels escenaris (l'A1B, que és un escenari intermedi pel que fa a les emissions), i els resultats es donen per a finals de segle (2080-2099).

De forma similar, en un article recent, Giorgi i Lionello (2009) presenten conjuntament, per a la regió mediterrània, els resultats de la major part dels models AOGCM emprats a l'AR4. L'anàlisi que fan és una mica més detallat que el que es presenta en el mateix informe (Christensen *et al.*, 2007), utilitzen altres escenaris (B1 i A2, a més de l'A1B) i presenten una gran sèrie de mapes amb les projeccions de temperatura i precipitació, però també de pressió a nivell del mar i altura geopotencial. Per al cas de l'escenari A1B, i per a la regió que ells anomenen mediterrània occidental (cobreix aquesta part del mar i tota la península Ibèrica), els resultats es resumeixen en descensos generals de la precipitació (entre un 10% a l'hivern i un 30% a l'estiu) i augments considerables de la temperatura (entre 3 °C a l'hivern i gairebé 5 °C a l'estiu). Aquests resultats

corresponen a finals del segle XXI respecte al període 1961-1980, i no difereixen substancialment als que presentem a continuació, corresponents a l'informe de l'IPCC.

6.2.4.1. Temperatura

A la taula 3 es donen els resultats corresponents al canvi de temperatura per a la regió esmentada. En concret, es dóna, per a cada estació i també per a l'any sencer, la mediana, els valors mínim i màxim (corresponents a dos models particulars) i els percentils 25 i 75 del conjunt de resultats dels models. En resum, doncs, podríem dir que, segons l'AR4, i per a aquesta àmplia regió dins la qual es troba Catalunya i per a finals de segle, cal esperar per a l'escenari A1B un augment de temperatura mitjana de 3,5 °C [3,0-4,0] (el primer valor és el de la mediana, i el rang entre claudàtors correspon al donat pels percentils 25 i 75). L'augment seria més marcat a l'estiu (4,1 °C [3,7-5,0]) que no pas a l'hivern (2,6 °C [2,5-3,3]). La darrera columna de la taula ens indica que tots els anys de finals de segle, i la major part d'estacions, serien considerades com a «molt càlides» prenent com a referència el clima actual. Aquests valors ens poden servir de referència per a la resta de valors que anirem detallant més endavant en aquest mateix capítol.

Per explicar la variabilitat espacial d'aquests canvis de temperatura i de precipitació, a la figura 4 es mostren mapes d'aquests canvis, per a la regió esmentada (Europa i el Mediterrani), segons els mateixos resultats de 21 models globals. Així, els resultats que corresponen a un escenari d'emissions A1B, es donen també per a finals de segle (2080-2099) en relació amb finals del segle passat (1980-1999), i es calculen com la mitjana

Regió mediterrània	Estació	Mín.	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Màx.	Estacions càlides (%)
30°N, 10°W	DGF	1,7	2,5	2,6	3,3	4,6	93
	MAM	2,0	3,0	3,2	3,5	4,5	98
	JJA	2,7	3,7	4,1	5,0	6,5	100
	SON	2,3	2,8	3,3	4,0	5,2	100
	Anual	2,2	3,0	3,5	4,0	5,1	100

Taula 3. Resum de les projeccions de 21 models inclosos en l'MMD («multi-model data set»), per a la regió mediterrània, escenari A1B. Diferències de temperatura (°C) entre el període 2080-2099 i el període 1980-1999.

Font: Extret de Christensen *et al.*, 2007.

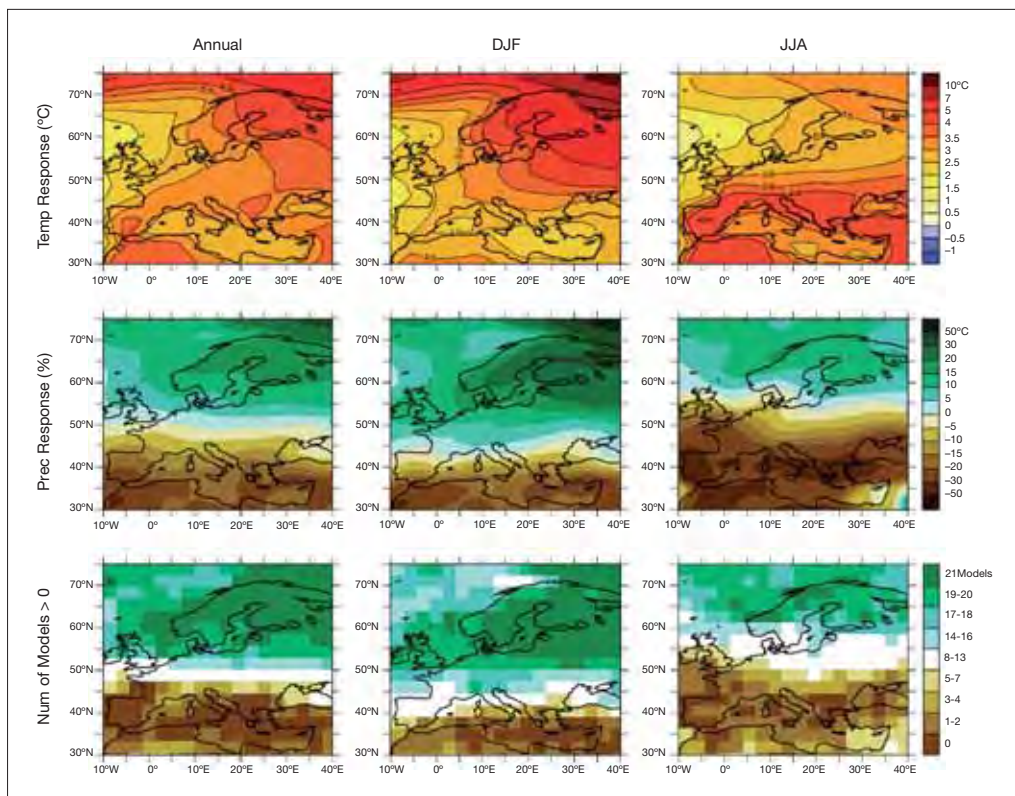


Figura 4. Canvis de la temperatura (a dalt) i de la precipitació (al mig), a Europa, a partir de les simulacions de 21 models globals per a l'escenari A1B. Diferències entre 2080-2099 i 1980-1999. D'esquerra a dreta, per a la mitjana anual, d'hivern i d'estiu. A baix, avaluació de la incertesa en la projecció dels canvis de precipitació, en què s'indica el nombre de models que donen augment d'aquesta.

Font. Christensen et al., 2007.

de les variacions donades per tots els models. Es donen, igualment, per al període anual i també per als mesos d'estiu (juny, juliol i agost) i d'hivern (desembre, gener i febrer). Els mapes d'aquesta figura permeten fer una anàlisi més detallada. Per exemple, pel que fa a la temperatura, observem que per a la península ibèrica la temperatura mitjana anual podria augmentar entre 2,5 i poc més de 3,5 °C. Aquesta és una estimació equivalent a la que es fa per al conjunt del globus i inferior a la de la resta d'Europa. Tot Catalunya es troba dins la línia que delimita un augment d'entre 2,5 i 3 °C. Estacionalment, el comportament és ben diferenciat. A l'hivern, el patró s'assembla al de l'any sencer, amb augments a la península ibèrica (i el Mediterrani en general) inferiors (2,5 °C) als de l'Europa nord-oriental. En canvi, a l'estiu els augments de temperatura a la

zona mediterrània són clarament superiors als de la resta del continent, i s'assoleixen valors superiors als 4 °C per a bona part de la península ibèrica.

Encara en relació amb els resultats que es donen a l'informe de l'IPCC, és interessant comentar també la figura 5. En aquesta es presenta l'evolució de la temperatura per a la zona del sud d'Europa i la Mediterrània al llarg del segle XXI. Es destaca l'escenari A1B, però també es donen els rangs de les projeccions per als escenaris B1 i A2. Així, observem que l'augment de la temperatura s'espera que sigui constant i continuat. Per tant, podríem dir que pel que fa a les temperatures, els augments per a mitjan segle serien, molt aproximadament, la meitat que els esperats a finals de segle. En canvi, no és evident que es pugui fer la mateixa extrapolació per a les preci-

pitacions, i de fet, l'informe de l'IPCC no dona una figura equivalent per a aquesta variable.

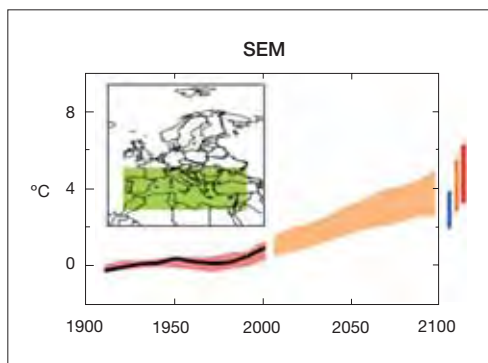


Figura 5. Anomalies de temperatura (línia negra) i les projeccions dels canvis de temperatura per al segle XXI; en aquest cas, respecte a la mitjana de 1901 a 1950. La zona ombrejada de taronja correspon al rang de resultats dels 21 models de l'MMD, per a l'escenari A1B. A la dreta de la figura, les barres blava i vermella fan referència als augments per a finals de segle corresponents als escenaris B1 i A2, respectivament. Font. Christensen et al., 2007.

6.2.4.2. Precipitació

Els resultats resumits de les simulacions efectuades amb 21 models globals són els que es presenten a la taula 4. Es dona, per a cada estació i també per a l'any sencer, la mediana calculada amb els resultats de tots els models, els valors mínim i màxim (corresponents a dos models particulars) i els percentils 25 i 75 del conjunt de resultats dels models. En resum, doncs, podríem dir que per a la regió mediterrània cal esperar disminucions de la precipitació mitjana anual del 12% [9-16], disminució que serà més marcada a l'estiu (24% [14-35]) que no pas a l'hivern (6% [1-10]). A finals de segle, gairebé la

meitat dels anys es considerarien com a «molt secs» prenent com a referència el clima actual, tal com s'indica a l'última columna. En molt poques ocasions (penúltima columna) es donaran situacions que actualment correspondrien a valors d'elevada pluviometria.

Cal dir que la Mediterrània és de les poques regions, entre les considerades a l'informe de l'IPCC, on les estimacions de descens de la precipitació són unànimes entre la majoria de models globals i al llarg de totes les estacions de l'any. Aquests valors ens poden servir de referència per a la resta de valors que s'aniran mostrant més endavant, però cal tenir present que, a diferència del que passava amb les temperatures, la variabilitat de les precipitacions a la regió de referència (Mediterrània) és molt gran. Per tant, no ha d'estranyar que quan baixem més d'escala, trobem projeccions notablement diferents a aquesta referència. D'altra banda, atesa la complexitat de les projeccions pel que fa a la precipitació, és fa difícil donar, a partir d'aquests resultats, un valor a la seva possible variació en un horitzó més proper. De totes maneres, interpolant linealment el valor a finals de segle, tenim que pels volts de l'any 2040 la precipitació en aquesta àrea, per a l'escenari A1B que estem considerant, podria disminuir entre un 4 i un 8%.

Si observem els mapes presentats a la figura 4, es pot destacar un marcat gradient latitudinal a la zona analitzada. Així, al sud de la Mediterrània (incloent-hi el sud de la península Ibèrica) el descens de la precipitació anual, a partir de la mitjana dels 21 models, podria ser superior al 20%. En canvi, al nord d'Europa es projecten augments de la mateixa magnitud. A Catalunya (sempre recordant que les estimacions parteixen

Regió mediterrània	Estació	Mín.	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Màx.	Estacions humides (%)	Estacions seques (%)
30 N, 10 W a 48 N, 40 W	DGF	-16	-10	-6	-1	6	3	12
	MAM	-24	-17	-16	-8	-2	1	31
	JJA	-53	-35	-24	-14	-3	1	42
	SON	-29	-15	-12	-9	-2	1	21
	Anual	-27	-16	-12	-9	-4	0	46

Taula 4. Resum de les projeccions de 21 models inclosos en l'MMD. Escenari A1B, diferències en la precipitació (en %) entre el període 2080-2099 i el període 1980-1999.

Font. Christensen et al., 2007.

de resultats de models globals, i per tant de baixa resolució espacial), s'esperarien disminucions de la precipitació d'entre un 10 i un 15% anual. Les diferències latitudinals es mantenen en les estacions considerades. A l'estiu, el descens de la precipitació seria encara més notable a la península ibèrica (de més del 30%, arribant fins i tot al 50%); en canvi, a l'hivern bona part de la península es trobaria en una zona de poc canvi (entre 0 i el -5%). Mentre que per a la temperatura el senyal de tots els models és coincident (indiquen augments), cal comentar que per a la precipitació no succeeix el mateix, almenys en algunes àrees. Aleshores, per tal d'avaluar la robustesa de les projeccions de precipitació, s'afegeix també a la figura 4 una representació del nombre de models que indiquen variacions de precipitació en un mateix sentit. Així, veiem que en base anual (i també per a l'estiu) tots els models (excepte un màxim de quatre en algun punt molt concret) estan d'acord en indicar disminucions de precipitació al sud d'Europa, inclosa la península ibèrica. En canvi, per a l'hivern hi ha aproximadament el mateix nombre de models que indiquen disminució i augment de precipitació, i per això podem dir que per a aquesta estació, el resultat és més incert, o els canvis previstos, menys significatius.

En aquest apartat, es pot fer esment dels anomenats fenòmens extrems, que en el cas de la precipitació són bàsicament les pluges i tempestes intenses (amb possibles inundacions associades) i els períodes de sequera. En aquest sentit, l'AR4 (a escala global) assigna una alta probabilitat que hi hagi més situacions de pluges intenses, i també una certa probabilitat que augmenti la intensitat i la freqüència de períodes de sequera en els llocs on ja n'hi ha en el clima actual.

6.2.5. Resum i comentari sobre les incerteses

A partir del que es mostra a la figura 4, però també a partir d'altres resultats (per exemple, corresponents a d'altres escenaris, o provinents de l'ús de models regionals com ara els emprats en el projecte Prudence, tal com explicarem en el proper capítol), a l'informe de l'IPCC (Christensen *et al.*, 2007) es fan algunes afirmacions força clares en relació amb els canvis que hom pot es-

perar per a Europa, la Mediterrània, o la península ibèrica. Així (i deixant de banda les qüestions més òbvies, com ara l'augment de temperatura una mica superior a la mitjana global), s'hi indica que:

- És molt probable que la precipitació mitjana anual disminueixi a la major part de l'àrea mediterrània.
- És molt probable que l'estació de neu (època en la qual hi ha nevades o la neu roman sobre el terra) s'escurci a la major part d'Europa. Igualment, és molt probable que disminueixi el gruix de neu acumulada als hiverns. Malgrat tot, això es matisa lleugerament en indicar que l'augment previst de precipitació al nord d'Europa podria compensar en part l'efecte que l'augment de temperatura té sobre les nevades i la fosa de la neu.
- És molt probable que augmenti la durada i la freqüència de les sequeres, enteses com dies consecutius sense precipitació, a tota la zona mediterrània.
- És probable que a la península ibèrica disminueixin els episodis de precipitació intensa (entenent que aquests acumularan menys precipitació o que s'allargarà el període de retorn de valors alts). Això no obstant, només es dóna una referència bibliogràfica per justificar aquest resultat (Frei *et al.*, 2006).
- És probable que s'incrementi el risc de sequera hidrològica (entesa com els resultats dels canvis de precipitació i d'evaporació), en particular a l'estiu al sud d'Europa i la Mediterrània.

Com ja s'ha esmentat abans, les projeccions climàtiques que es presenten en els informes de l'IPCC, més amunt resumides, no estan pas exemptes d'incertesa. Tot el contrari, hi ha molts factors que introdueixen incertesa, i que expliquen les diferències entre els resultats dels diversos models climàtics emprats. També s'ha esmentat que alguns d'aquests factors tenen a veure amb el desconeixement de les dades i la informació necessària, mentre que d'altres estan associats a una comprensió limitada del funcionament d'alguns components del sistema climàtic, que afecten d'una manera especialment important a les projeccions de les precipitacions futures.

Per tant, és clar, tal com diu l'AR4, que les projeccions climàtiques i els seus impactes, sobretot si anem més enllà del 2050, depenen molt de l'escenari i del model escollit. Per això, els rangs d'augment de temperatura (per no parlar dels encara més incerts canvis en la precipitació) són força grans. Donant la volta a l'argument, però, podem assenyalar que les projeccions per a les properes 2-4 dècades són força més robustes, gairebé independents de l'escenari d'emissions i poc dependents de la representació de les retroaccions, ja que aquestes darreres acostumen a tenir efecte sobre escales temporals més llargues.

6.3. Regionalització i escenaris per a Catalunya

En aquest apartat ens proposarem presentar les tècniques que s'utilitzen per fer projeccions climàtiques a escales més reduïdes, i, sobretot, mostrar els resultats obtinguts amb aquestes tècniques. En els diversos subapartats resumirem, primer, treballs anteriors, realitzats per diverses institucions, a partir del que està publicat en revistes científiques i informes dels corresponents projectes. En segon lloc, en altres subapartats presentarem resultats nous, com ara els obtinguts pel Servei Meteorològic de Catalunya, o d'altres que resulten de l'anàlisi de les darreres simulacions d'alta resolució realitzades en el marc del projecte europeu Ensembles.

Pel que fa a les parts basades en la revisió bibliogràfica (6.3.2 i 6.3.3), hem vist més amunt que el capítol 11 de l'AR4 es dedica a sintetitzar la informació sobre les projeccions climàtiques per a la regió denominada Europa i el Mediterrani, i, per tant, els resultats que allà es reporten donen indicacions interessants per definir possibles escenaris futurs per a Catalunya. Però, atès que l'àrea coberta és molt més gran, és més interessant, i necessari en moltes ocasions, anar a les fonts originals, és a dir, a les publicacions científiques que van servir de base per elaborar aquest apartat de l'informe de l'IPCC. Moltes de les publicacions referenciades en aquell capítol, i que incideixen en la nostra àrea, s'han revisat amb profunditat per mirar de treure'n resultats més ajustats.

D'altra banda, s'ha fet una cerca bibliogràfica en diverses bases de dades per tal de trobar alguns articles més, potencialment interessants i a

vegades més recents. En tots els casos, la cerca s'ha limitat a articles que fan referència al clima futur, a la zona Mediterrània o Europa (o escales espacials inferiors), i a articles publicats recentment (a partir de l'any 2003), ja que la informació anterior a aquesta data ja havia estat revisada en el capítol A6 del Primer Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya (Calbó, 2005). Aquesta tasca ha donat com a resultat disposar d'un conjunt d'articles per revisar. Aquests treballs són publicats en unes poques revistes científiques: *Climatic Change*, *Climate Dynamics*, *Geophysical Research Letters* i *Global and Planetary Change*. La major part dels articles són d'autors europeus, entre els quals destaquen alguns investigadors que són autors de diversos dels treballs revisats: J. H. Christensen, X. Gao, M. Déqué, M. Beniston, F. Giorgi, etc. En cap dels articles seleccionats hi havia autors catalans i només un grup de la resta de l'Estat espanyol sembla haver publicat freqüentment sobre el tema en revistes científiques internacionals: es tracta d'un grup de recerca de la Universitat de Castella-la Manxa format pels investigadors M. de Castro, M. A. Gaertner i altres. Cal comentar, però, que recentment altres grups espanyols (de la Universitat de Cantàbria, de la Universitat Complutense, i de la Universitat de Múrcia) estan publicant també sobre la temàtica (Fernández *et al.*, 2007; Fernández *et al.*, 2008).

Entre els treballs revisats i que cal esmentar de forma especial (els dedicarem l'apartat 6.3.3) hi ha també l'informe del projecte «Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España» que ha estat desenvolupant l'Agència Estatal de Meteorologia (l'antic Institut Nacional de Meteorologia). Aquest informe (Brunet *et al.*, 2009) és prou important com per dedicar-li tot un subapartat, ja que emprant diverses metodologies presenta mapes força detallats, per a l'Estat espanyol, dels valors projectats al futur de diverses variables climàtiques; així com resultats agregats per a comunitats autònomes.

6.3.1. Tècniques de regionalització (*downscaling*)

Com hem comentat, els models globals són capaços de reproduir la resposta del sistema climàtic a un forçament (com ara el canvi de les

concentracions de diversos gasos a l'atmosfera) i, per tant, es poden utilitzar per estimar quin pot ser el clima futur depenent de quin sigui el forçament. Això no obstant, també hem comentat que aquests models d'escala global treballen amb unes malles de càlcul on cada cel·la té unes dimensions característiques de 1-3 de latitud i longitud. Així, els models globals no inclouen una bona descripció de l'orografia, ni tampoc una bona definició de la línia de costa, almenys al nivell que cal quan ens interessen pel clima en àrees regionals com ara Europa, la península ibèrica, o Catalunya. Una solució a aquest problema seria incrementar la resolució dels models globals, aspecte, però, que està limitat per la potència de càlcul disponible. Mentre els models d'abast global no siguin capaços de produir resultats correctes sobre una malla d'alta resolució (50 km o menys) en un temps raonable, serà necessària alguna tècnica de «regionalització» o de disminució d'escala (*downscaling*), és a dir, alguna metodologia per obtenir més detall espacial de les projeccions climàtiques. Hi ha diverses opcions, però cal remarcar que totes depenen d'alguna manera o altra dels resultats dels models globals, que són en realitat els que projecten l'evolució del clima cap al futur, mentre que els mètodes de regionalització «només» converteixen els resultats d'una escala gran a una escala inferior, de més detall.

Bàsicament, hi ha dues tècniques de regionalització, encara que se n'utilitzen altres que són variacions o combinacions d'aquestes dues. La primera, la regionalització anomenada dinàmica, consisteix en l'ús de models climàtics regionals (RCM) niats en models globals. Els models climàtics regionals són, bàsicament, models de pronòstic meteorològic d'àrea limitada (o de mesoescala), és a dir, models que descriuen el comportament de l'atmosfera, amb les equacions i parametritzacions corresponents, sobre una part de la terra i emprant una malla de càlcul força més fina que la dels models globals. S'executen de tal manera que les condicions de contorn venen donades per la sortida (els resultats) d'algun model global. D'aquesta manera, el que estan fent és, sobre la base d'una millor descripció de l'orografia, la costa, els usos del sòl, etc., i d'una millor representació física d'alguns fenò-

mens, adaptar la sortida del model global a la realitat d'una escala inferior. Com que treballen niats dins de models globals, no acostumen a resoldre explícitament, per exemple, les equacions que descriuen el comportament de l'oceà, amb la qual cosa el temps de càlcul necessari per obtenir resultats es manté en un marge raonable. Més detalls sobre els fonaments de la modelització climàtica regional es poden trobar, per exemple, a Gaertner Ruiz-Valdepeñas (2009).

La segona tècnica de regionalització és la que s'anomena estadística. Aquesta consisteix a utilitzar regressions estadístiques multivariables entre les variables climàtiques en un punt concret del territori i els valors que s'obtenen en una o més cel·les d'un model global. Aquestes regressions s'obtenen primer relacionant valors mesurats en el passat (sèries històriques instrumentals) amb les sortides dels models globals quan aquests simulen precisament aquests temps passats. Una premissa bàsica (i una de les seves principals limitacions) d'aquesta tècnica és que cal suposar que la relació entre les variables climàtiques es mantindrà invariable fins i tot en un context de canvi climàtic. En alguns casos, les relacions no s'estableixen entre un punt i els valors d'una cel·la, sinó entre un punt i algun índex que recull informació sinòptica, corresponent, per tant, a diverses cel·les del model global. Aquests índexs sovint es refereixen al comportament d'algun patró sinòptic de baixa freqüència o algun mecanisme de teleconnexió, com ara l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO) o l'oscil·lació àrtica (AO), l'oscil·lació del Pacífic Sud vinculada al fenomen d'*El Niño* (ENSO) o, a la nostra àrea, l'oscil·lació de la Mediterrània Occidental (WeMO; López-Bustins *et al.*, 2008). En altres cassos, el conjunt de les diferents situacions sinòptiques es redueix a un subconjunt de situacions típiques, per a les quals es coneix el comportament a escala local. Aquest és el fonament de les metodologies basades en anàlegs. La regionalització estadística presenta diversos avantatges respecte a la dinàmica. Entre aquests, destaca que pot produir projeccions per a punts concrets, i que no requereix de grans recursos de càlcul numèric. Entre els inconvenients, a part del ja esmentat de l'estacionarietat de les relacions entre predictors i predictands, hi ha el fet que cal disposar

de sèries històriques prou llargues per establir aquestes relacions (Ribalaygua Batalla *et al.*, 2009). Sigui com sigui, és important recordar, com ja hem dit més amunt, que a la pràctica, els mètodes de regionalització emprats són en realitat una combinació de mètodes dinàmics i estadístics; així, es troben treballs en què s'ha emprat un mètode dinàmic per baixar a una resolució de 25 km, i a continuació un mètode estadístic per efectuar una projecció en un punt concret del territori analitzat.

Així doncs, una determinada projecció climàtica d'abast regional serà el resultat de combinar: a) un escenari d'emissions; b) la sortida d'un model climàtic global forçat amb l'escenari d'emissions escollit; i c) una tècnica de regionalització. És evident, doncs, que el nombre de projeccions que es poden obtenir és molt elevat, fet que justifica el present treball d'anàlisi dels estudis fins ara desenvolupats i de síntesi dels resultats que s'han anat publicant. També cal tenir present que cadascun dels passos esmentats introdueix incertesa en les projeccions regionals que se n'obtinguin.

6.3.2. El projecte PRUDENCE

6.3.2.1. Descripció de la metodologia

Amb el rerefons d'intentar posar ordre en tota aquesta generació d'escenaris climàtics regionals i organitzar la recerca en aquesta àrea, concretament per a la zona d'Europa, la Unió Europea va finançar, entre 2001 i 2004, el projecte PRUDENCE (i dos projectes més estretament vinculats amb aquest, els projectes STARDEX i MICE), que ha esdevingut un exemple per a altres projectes similars a la resta del món, i un pas molt important en la recerca climàtica a Europa. PRUDENCE («Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining european climate change risks and effects», és a dir, «Predicció d'escenaris regionals i incerteses per definir riscos i efectes associats al canvi climàtic a Europa») és un projecte que va involucrar més de vint grups de recerca europeus, amb l'objectiu principal de proporcionar escenaris climàtics d'alta resolució, per a Europa i per al final del segle XXI, mitjançant metodologies de regionalització dinàmica, i explorar les incerteses d'aquestes projeccions.

Específicament, el projecte va contemplar quatre fonts d'incertesa: a) incertesa en el mostreig, en el sentit que el clima simulat s'estima com una mitjana sobre un nombre limitat d'anys (30); b) incertesa en els models regionals, atès que els diferents RCM utilitzen diferents tècniques de discretització (solució numèrica de les equacions) i diferents parametritzacions per representar els fenòmens d'una escala inferior a la malla de treball; c) incertesa en les emissions, a causa —com ja hem comentat— de l'elecció que s'ha de fer entre els diversos escenaris d'emissions, i d) incertesa en les condicions de contorn, perquè els diversos models globals també donen resultats (que s'utilitzaran com a contorns) diferents entre si.

Els experiments duts a terme a PRUDENCE consistien en una simulació de «control» per representar el període 1961-1990 (que servia per avaluar la capacitat dels models per reproduir el clima observat) i en una altra simulació d'un escenari futur corresponent al període 2071-2100, ambdues efectuades amb diversos models climàtics regionals. La major part de simulacions es van fer sobre la base de l'escenari A2, i utilitzant la sortida del model britànic HadAM3H (només atmosfèric, amb una resolució de 150 km) per establir les condicions de contorn, de manera que es va poder avaluar detalladament les incerteses (diferències) entre els models regionals utilitzats. El model HadAM3H, al seu torn, es va inicialitzar amb les sortides del model global HadCM3 (vegeu la taula 1). També es van fer altres simulacions amb l'escenari B2, i també emprant altres models globals (ECHAM4/OPYC3, taula 1) o diverses execucions del mateix model global (Christensen, 2005; Déqué *et al.*, 2005; <<http://prudence.dmi.dk>>).

Els models regionals de clima utilitzats per PRUDENCE, i els centres de recerca que els han emprat, són els següents:

- Hirham: DMI (Danish Meteorological Institute), Dinamarca
- Arpege: CNRM (Météo-France), França
- HadRM: HC (Hadley Centre, MetOffice), Regne Unit
- CHRM: ETH (Swiss Federal Institute of Technology), Suïssa
- CLM: GKSS (Institute for Coastal Research), Alemanya

- Remo: MPIM (Max Planck Institute for Meteorology), Alemanya
- RCAO: SMHI (Rossby Centre, Swedish Meteorology and Hydrology Institute), Suècia
- Promes: UCM (Universitat Complutense de Madrid), Espanya
- RegCM: ICTP (International Centre for Theoretical Physics), Itàlia
- Racmo: KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute), Països Baixos

La zona sobre la qual es van aplicar aquests models és diferent per a cadascun d'ells, encara que en tots els casos cobreix tots els països d'Europa Occidental. Tots ells es van executar amb resolucions a l'entorn dels 50 km, i l'únic cas que és una mica especial és l'Arpege, que de fet es tracta d'un model atmosfèric d'abast global que es va emprar amb alta resolució sobre la zona objecte de l'estudi del projecte Prudence, és a dir, sobre Europa.

El projecte PRUDENCE va produir una gran quantitat de resultats, alguns dels quals es poden obtenir directament del seu web. En efecte, allà hi ha bases de dades accessibles amb els valors de diverses variables tal com han estat calculats pels diversos models regionals i diversos escenaris. Això no obstant, no és objecte d'aquest treball analitzar aquestes dades, sinó que ens limitarem a presentar els resultats ja analitzats (i publicats) per altres autors.

6.3.2.2. Resultats

A l'informe final del projecte PRUDENCE (Christensen, 2005) es presenten uns valors (relatius als canvis de temperatura i precipitació) que intenten resumir els resultats dels experiments duts a terme en el projecte, per països (o per parts de

països quan aquests són grans). La informació es presenta en base anual i també per a les quatre estacions. Per tal de quantificar la incertesa de les projeccions es donen diversos estadístics, entre d'altres, la mitjana, la desviació estàndard, la mediana i els percentils 5 i 95 dels canvis projectats. A partir d'aquesta informació s'ha elaborat la taula 5, que correspon a la part nord d'Espanya (no es diu explícitament, però probablement correspon a la part al nord del paral·lel 40° N). Malgrat que aquesta zona és la que inclou Catalunya, també inclou la costa cantàbrica que té un clima clarament diferent (en particular, les situacions sinòptiques que originen les precipitacions a la costa mediterrània i a la cantàbrica són ben diferents). D'una manera un pèl curiosa, els valors es donen relatius a un augment de temperatura global d'1 °C. Això, que per a la temperatura pot semblar força raonable, és una mica sorprenent per a la precipitació, que no respon linealment als augments de temperatura.

Sense intentar d'utilitzar la taula 5 per determinar valors absoluts dels canvis projectats, hom pot analitzar els nombres de forma relativa. Així, i sempre segons aquests resultats (recordem, models regionals que utilitzen un model global concret com a condició de contorn), tenim que aquesta regió de la península ibèrica s'escalfarà més que la mitjana global, i més a l'estiu que no pas a l'hivern. La precipitació disminuirà en mitjana anual, a causa de descensos importants a l'estiu i primavera, menys importants a la tardor, i a augments poc significatius a l'hivern. Cal dir que totes aquestes característiques són compatibles amb les que hem esmentat a l'apartat anterior, i que resultaven directament dels models globals.

	Temperatura (°C)					Precipitació (%)				
	Any	DGF	MAM	JJA	SON	Any	DGF	MAM	JJA	SON
Mitjana	1,3	1,0	1,1	1,9	1,4	-5,7	+1,9	-8,6	-14,4	-5,2
Desv. Est.	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	+1,6	+2,0	+2,7	+4,2	+2,7
Mediana	1,3	1,0	1,0	1,8	1,3	-5,7	+1,9	-8,5	-13,9	-5,1
p95	2,0	1,6	1,8	2,7	2,0	-3,1	+5,2	-4,1	-7,4	-0,7
p5	0,7	0,4	0,5	1,1	0,7	-8,4	-1,4	-13,1	-21,4	-9,7

Taula 5. Variacions de temperatura (sempre positives) i de precipitació entre finals de segle XXI i el període de referència 1961-1990, per a l'escenari A2, com a resultat dels models regionals emprats per Prudence, per a la zona nord d'Espanya. Els resultats són relatius a un augment de la temperatura global d'1 °C.

Font: Christensen, 2005.

D'altra banda, el treball de revisió de Giorgi i Lionello (2008) també resumeix els resultats del projecte Prudence, en aquest cas, a partir de la definició de diverses regions dins el continent europeu. Una de les regions és la península ibèrica. En aquesta, s'indica que el rang d'augment de la temperatura (entre totes les simulacions desenvolupades en el marc del projecte) és de 2,4-4,1 °C a l'hivern i de 4,1-7,6 °C a l'estiu. Pel que fa a la precipitació, els rangs donats són petits augments a l'hivern (entre 0,01 i 0,04 mm/dia) i disminucions importants a l'estiu (entre -0,13 i -0,80 mm/dia). Aquestes darreres quantitats, convertides a percentatge emprant uns valors aproximats de la precipitació mitjana a Catalunya, representen augments de menys del 2,5% a l'hivern i disminucions de fins el -50% a l'estiu. Concretament, per convertir els valors absoluts en relatius, s'ha pres com a referència una precipitació mitjana anual, per a Catalunya, de 675 mm, distribuïda per estacions de la següent manera: hivern, 150 mm; primavera, 175 mm; estiu, 150 mm; tardor, 200 mm. Evidentment, cap d'aquests valors s'ha de prendre com res més que una referència que intenta resumir la precipitació a Catalunya, malgrat la gran variabilitat espacial i temporal, i són lleugerament elevats, per tal d'evitar de sobreestimar les variacions relatives.

Encara analitzant resultats provinents majoritàriament del projecte PRUDENCE, hem intentat resumir totes les dades que es poden extreure d'altres articles que donen resultats (projeccions) per a la zona que ens interessa. La major part tracten de tot l'àmbit considerat per PRUDENCE,

però nosaltres hem extret la informació, mirant els mapes o les taules corresponents, per a l'àrea de Catalunya. Els treballs dels quals deriven els valors presentats a la taula 6 són Sánchez *et al.* (2004); Castro *et al.* (2005); Rowell (2005); Dequé *et al.* (2005); Rowell i Jones (2006); Petisco *et al.* (2006); Kjellström *et al.* (2007) i Dequé *et al.* (2007), pel que fa a les projeccions de la temperatura. Pel que fa a les projeccions dels canvis en la precipitació, els treballs que s'han emprat per a elaborar la taula 7 són els de Gibelin i Déqué (2003); Castro *et al.* (2005); Rowell (2005); Déqué *et al.* (2005); Rowell i Jones (2006); Petisco *et al.* (2006); Gao *et al.* (2006); Déqué *et al.* (2007) i Tapiador *et al.* (2007). En aquest cas, a més de la ja esmentada diversitat de projeccions, trobada entre els diversos articles, aquí s'hi suma encara una altra dificultat, que és que alguna de les prediccions ve donada en canvis absoluts de la precipitació (mm/dia) mentre que d'altres venen donades en forma relativa. Igual que s'ha explicat més amunt, totes les variacions s'han convertit a canvis relatius.

Alguns dels articles revisats per obtenir els valors mostrats a la taula 6 (i altres treballs igualment revisats) comenten també altres aspectes que podrien canviar en el clima de la Mediterrània i Europa, i que tenen a veure amb les temperatures, com ara les onades de fred i calor i els extrems de calor en general. Per exemple, Beniston *et al.* (2007) troben que tots els índexs relacionats amb les onades de calor (nombre, durada màxima, temperatura màxima, etc.) augmenten clarament a Catalunya (entre un 10 i un 25% segons l'índex) a finals del segle XXI sota un esce-

Escenari	Hivern (DJF)	Primavera (MAM)	Estiu (JJA)	Tardor (SON)	Any
Temperatura					
B2	2,0-3,0 (1)	2,0-3,0 (1)	3,0-4,0 (1)	3,0-4,0 (1)	2,0-3,5 (2)
A2	2,4-4,0 (6)	3,0-4,5 (2)	4,5-7,0 (7)	3,5-6,0 (2)	3,5-5,5 (8)
Precipitació					
B2	-10, +10 (2)	-5, 0 (1)	-30, -15 (2)	0, +10 (1)	-12, 0 (2)
A2	-10, +5 (7)	-30, -5 (3)	-50, -25 (7)	-15, +20 (3)	-20, -7 (5)

Taula 6. Rangs d'augment de la temperatura (en °C) i de canvis en la precipitació (en %), per a Catalunya i per a finals del segle XXI, obtinguts a partir de diversos treballs publicats, majoritàriament relacionats amb PRUDENCE (vegeu el text), dependent de l'estació de l'any i l'escenari d'emissions. Entre parèntesis, nombre de treballs que s'han emprat per determinar el rang donat.

nari A2. Sánchez *et al.* (2004), utilitzant només un model i l'escenari A2, troben que les temperatures més extremes (el percentil 90 de les temperatures màximes) podrien pujar entre 5-7 °C a l'estiu i al voltant de 3 °C a l'hivern. Curiosament, segons el mateix treball, les onades de calor podrien disminuir la seva durada a Catalunya, excepte a l'estiu als Pirineus. Pel que fa a les temperatures mínimes més baixes (percentil 10) augmentarien uns 3 °C a l'hivern i uns 4 °C a l'estiu. Les durades de les invasions d'aire fred a l'hivern serien més curtes, però, en canvi, els períodes amb aire relativament més fresc serien més llargs a l'estiu. Aquest darrer resultat és qüestionat pels mateixos autors del treball (Sánchez *et al.*, 2004), que el justifiquen sobre la base que els períodes «freds» i «càlids» ho són en relació amb els valors normals en el nou clima (i no en el present). En resum, aquests autors conclouen que l'oscil·lació tèrmica diària podria ser més gran que la present, i que la dispersió entre extrems de temperatura també augmentaria, fet que està concorda amb el que s'indica a l'informe de l'IPCC (Christensen *et al.*, 2007). Per la seva banda, Kjellstrom *et al.* (2007) afirmen també que les temperatures extremes (percentil 95 de les màximes i percentil 5 de les mínimes) augmentaran a la península ibèrica 6 i 3 °C, respectivament, a l'estiu i a l'hivern (escenari A2). Per últim, Diffenbaugh *et al.* (2007) combinen la temperatura i la humitat relativa per definir un índex de calor, i obtenen que per a l'escenari A2 i a finals de segle, els dies en què el valor d'aquest índex supera un cert llindar de perillositat passen a ser més de 30 dies l'any en algunes zones de la costa i el sud de Catalunya, quan en el clima actual no són més d'uns 10 dies per any.

Igual que per al cas de la temperatura, alguns dels treballs revisats paren especial atenció en altres fenòmens associats a la precipitació, com ara la seva intensitat o els períodes de sequera (entesa com a períodes sense precipitació). Per exemple, Gao *et al.* (2006) utilitzen un model regional a una resolució de 20 km per analitzar els canvis en la durada dels períodes sense precipitació («dry spells») i en les precipitacions intenses (definides a partir de la màxima precipitació acumulada en cinc dies consecutius, 5DP), a finals del segle XXI i per a l'escenari A2. Segons els

seus resultats, i pel que fa als períodes secs, aquests tendeixen a allargar-se entre un 25-75% a la primavera i fins a més d'un 100% a l'estiu, mentre que no canvien de manera significativa a la tardor i l'hivern. Pel que fa a la 5DP, tendiria a disminuir durant l'hivern i la primavera (entre un 10-25%) però a augmentar (fins un 50%) en el litoral a la tardor. En un treball anterior, només per a l'estiu, Pal *et al.* (2004) també troben una tendència similar amb l'escenari B2: els períodes sense precipitació podrien allargar-se entre 2 i 7 dies més, mentre que la 5DP no canviaria significativament durant l'estiu.

Per la seva banda, Christensen i Christensen (2004) analitzen els possibles canvis en les precipitacions extremes estivals, i conclouen que malgrat el descens de les precipitacions totals, es pot esperar (A2, finals de segle) un cert augment en les precipitacions intenses.

Beniston *et al.* (2007), en canvi, basant-se en algunes de les simulacions desenvolupades en el marc de Prudence, conclouen que les precipitacions intenses disminuiran al sud d'Europa, tant a l'hivern com a l'estiu. El mateix treball, però, coincideix amb altres resultats a predir un allargament en la durada dels períodes secs, que a més poden començar més aviat dins de l'any. Això seria vàlid, encara que amb diferent importància, per als dos escenaris analitzats (A2 i B2).

Sánchez *et al.* (2004) utilitzen un sol model regional (Promes) i un sol escenari (A2) per mostrar els canvis de la precipitació mitjana i extrema a finals de segle. Per a aquesta darrera, destaca que a Catalunya les precipitacions intenses podrien disminuir a l'hivern i, en canvi, augmentar a l'estiu (aquest darrer resultat sembla ser especialment significatiu a la Vall de l'Ebre). Atesa la disminució general de la precipitació, això implicaria una clara disminució dels dies amb precipitacions intenses (disminució superior al 10% a l'hivern i al 25% a l'estiu).

El treball de Lehner *et al.* (2006) és també interessant. Utilitza les sortides de dos models climàtics globals (HadCM3 i ECHAM4), amb l'escenari A1B, per alimentar el model integral de cicle de l'aigua WaterGAP, que té submodels hidrològics i de gestió de l'aigua. Els resultats que obtenen indiquen que, a Catalunya i per a finals del segle XXI, cal esperar que les inundacions que

actualment tenen períodes de retorn de 100 anys els tinguin d'entre 40 i 70 anys, especialment en llocs del litoral i prelitoral. D'altra banda, i per a tota Catalunya, caldria esperar que les sequeres que actualment tenen períodes de retorn de 100 anys reduïssin aquests períodes clarament per sota dels 50 anys (de fet, segons algun model i per a algun punt de Catalunya, l'increment de la freqüència dona lloc a valors de períodes de retorn de tan sols 10 anys).

Finalment, en un treball que té un enfocament una mica diferent, Arribas *et al.* (2004) analitzen l'impacte que podrien tenir els canvis en els usos i les propietats del sòl (deguts al canvi climàtic) sobre la precipitació. Troben, en coherència amb altres resultats ja comentats, que la precipitació podria augmentar molt lleugerament a l'hivern (+0,5%), i disminuir a la resta d'estacions, especialment a l'estiu (-7,8%).

També és adient destacar el treball de Gaertner *et al.* (2007) en què troben, a partir de l'anàlisi de resultats de models regionals inclosos en Prudence, indicis d'una possible formació, en el Mediterrani occidental, de borrasques amb característiques de ciclons tropicals en l'escenari climàtic que es dibuixa per a finals de segle amb el forçament A2.

Encara un altre treball, més recent (López-Moreno *et al.*, 2008), avalua amb detall quina pot ser la precipitació als Pirineus cap a finals de segle (en vista de la gestió de l'aigua dels rius que neixen en aquesta serralada), i conclou que la importància de la neu en el cicle hidrològic disminuirà clarament, en part pels canvis de la precipitació (que segons aquests autors, disminuiria, encara que poc, 5-10%, a l'hivern en els Pirineus orientals) però sobretot a causa de l'augment de temperatura, que significaria una reducció de l'àrea on s'hi acumula neu, un avançament del període de fosa i la conseqüent disminució dels cabals durant la primavera.

6.3.3. Els escenaris climàtics desenvolupats per l'AEMET

6.3.3.1. Metodologia

En el marc del Pla nacional d'adaptació al canvi climàtic i concretament en el seu primer programa de treball, l'Institut Nacional de Meteorologia

(actualment, Agència Estatal de Meteorologia) va ser designat per coordinar la tasca de generar uns escenaris climàtics detallats per a Espanya, de cara a les necessitats detectades per part de les persones que es dediquen a l'avaluació dels possibles impactes (Rodríguez Camino, 2009). La primera fase d'aquesta tasca es va anar desenvolupant en els anys 2006 i 2007, i ha donat lloc a una recent publicació (Brunet *et al.*, 2009) que actualitza un esborrany d'informe que va estar disponible a finals de l'any 2007.

L'aproximació que presenta l'esmentat informe es basa en l'ús de diverses tècniques de regionalització. D'una banda, s'analitzen directament els resultats dels models globals, és a dir, s'analitzen els valors que s'obtenen en les cel·les que corresponen a l'Estat espanyol (i de fet, a tota Europa), utilitzant un mètode adequat per a aquest propòsit, el de generació d'escenaris *Magicc-Scengen* (Wigley *et al.*, 2000). D'altra banda, s'utilitzen els resultats de tots els models regionals del projecte Prudence, que s'analitzen a escala de la península ibèrica. Finalment, i com a novetat interessant per obtenir l'alta resolució espacial desitjada, s'empren tres tècniques de disminució d'escala amb base estadística. Dues d'elles són mètodes que incorporen el coneixement dinàmic de l'atmosfera (mètodes d'anàlegs), mentre que la tercera és un mètode purament empíric. En tots els casos, i tal com s'ha comentat més amunt, la idea és, donada una situació meteorològica futura (tal com resulta dels models climàtics globals, és a dir, amb baixa resolució espacial), predir quin seria el comportament local del temps meteorològic i, concretament, d'algunes variables d'interès. Així, del model global se n'extrauran uns «predictors» que s'utilitzaran per avaluar uns «predictands». Aquests darrers, en el cas de l'informe que estem resumint, són les temperatures màxima i mínima diària i la precipitació diària. Tots aquests mètodes estadístics requereixen una bona base de dades de les variables meteorològiques en el passat, tant pel que fa a les estacions (punts concrets en el territori) com als camps meteorològics a escala sinòptica. En el cas que ens ocupa, les primeres estan garantides per la mateixa Agència Estatal de Meteorologia, mentre que els segons s'obtenen de les reanàlisis que, provinents de diverses

institucions internacionals, estan a la disposició dels investigadors.

Els mètodes dels anàlegs es basen en la cerca dels dies (passats) en què la situació sinòptica va ser més semblant a la del dia (futur) per al qual es vol predir els valors de les temperatures i la precipitació. Per a això, s'utilitzen diferents criteris objectius de proximitat que, aplicats a la base de dades històrica, permeten considerar que unes situacions són meteorològicament similars, fet que fa necessari definir les variables per a les quals es buscarà la semblança. Un cop s'han seleccionat els dies més semblants (anàlegs), es prenen els valors que va tenir la variable que es vol predir per a aquells dies, i, d'aquesta manera, es pot tenir una distribució de freqüència que es projecta com una distribució de probabilitats dels valors de la variable en el dia futur. A vegades es treballa amb la mitjana de tots els valors obtinguts per a cada punt, estació meteorològica o regió, a fi d'obtenir un resultat aparentment determinista.

En el cas de l'estudi que ens ocupa, el primer mètode utilitzat és l'anomenat mètode d'anàlegs FIC (Fundación para la Investigación del Clima). La definició de «situació semblant» es fa basant-se en els camps del vent geostrofic a 1.000 i 500 hPa (que descriuen força bé la situació dinàmica en superfície i a nivells mitjans de la troposfera). Després, s'utilitzen els dies anàlegs per determinar directament el valor de la variable a predir (fent la mitjana de tots els valors corresponents a tots els dies); o es busca una relació, lineal, entre algun índex que defineixi la situació sinòptica i el predictand. La primera opció es fa servir per a la precipitació, mentre que la segona s'aplica a les temperatures màxima i mínima (Ribalaygua Batalla *et al.*, 2009). Les tres magnituds s'avaluen pel que fa a l'estació meteorològica, en més de 300 estacions termomètriques i més de 2.300 estacions pluviomètriques. Aquest mètode utilitza els camps de la reanàlisi ERA-40 (Uppala *et al.*, 2005) del Centre Europeu de Predicció a Termini Mitjà (ECMWF), i s'ha aplicat amb els resultats de dos models globals AOGCM (CGCM2 i ECHAM4) i un d'atmosfèric (HadAM3), sempre per a l'escenari d'emissions A2 i per a tres horitzons temporals (2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100).

El segon mètode pren el nom de mètode d'anàlegs INM (ja que va ser aplicat pel mateix Institut Nacional de Meteorologia), i es força semblant al descrit anteriorment. La diferència principal és que no es treballa a escala d'estació meteorològica, sinó que, per tal de cobrir tot el territori, primer s'han interpolat els valors sobre una malla, que cobreix tota Espanya, amb cel·les d'uns 50 km de costat. Altres diferències són que s'utilitza la reanàlisi nord-americana NCAR-NCEP (National Center for Atmospheric Research i National Center for Environmental Prediction) com a base de dades històrica pel que fa als camps sinòptics, i que la semblança entre les situacions es defineix no només a partir dels camps del vent geostrofic a dos nivells, sinó també utilitzant altres índexs representatius de la situació. Aquest mètode es va aplicar amb els mateixos models globals i escenaris que l'anterior.

Finalment, un tercer mètode consisteix en una pura regressió lineal múltiple. El mètode pren el nom de SDSM (Statistical DownScaling Method). Es tracta d'establir relacions empíriques entre els predictands a escala local i els predictors d'escala regional, tal com resulten dels models de circulació general. Com en els casos anteriors, s'utilitzen dades històriques (en aquest cas, de les estacions de l'INM i de la reanàlisi de l'NCAR-NCEP) per calibrar les relacions, que després s'apliquen amb els resultats del model HadCM3 per a l'escenari A2. Una explicació molt més detallada dels tres mètodes es troba a l'informe ja esmentat (Brunet *et al.*, 2009) i en les referències que s'hi donen.

6.3.3.2. Resultats (península ibèrica i Catalunya)

En la figura 6 es presenten els canvis previstos (per al període 2071-2100 respecte del període 1961-1990) en la temperatura màxima mitjana anual, la temperatura mínima mitjana anual i la precipitació anual, segons l'informe de l'AEMET (Brunet *et al.*, 2009). Els tres mapes són el resultat de fer la mitjana de les sortides dels models regionals de Prudence, sempre forçats amb el model global HadAM3H i per a l'escenari d'emissions A2. Segons aquestes gràfiques, la temperatura màxima augmentaria a la península ibèrica entre 3 i 4,5 °C, i la temperatura mínima ho

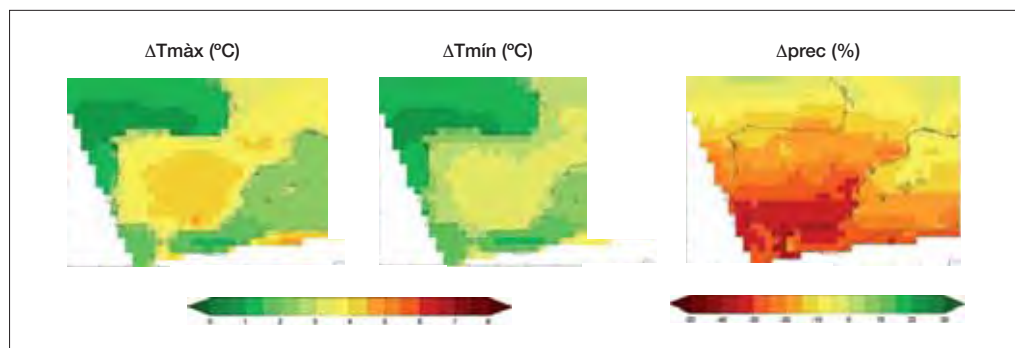


Figura 6. Variació de temperatura màxima, de temperatura mínima i de precipitació (mitjanes anuals) per a l'escenari A2, entre finals del segle XXI i el període de referència 1961-1990. Mitjana dels resultats dels models regionals del projecte PRUDENCE. Font: Brunet et al., 2009.

faria entre 2,5 i 3,5 °C. Aquests resultats estan, lògicament, en la línia dels que hem comentat a l'apartat anterior. Pel que fa a la precipitació, la reducció es trobaria entre un 10 i un 35%, encara que la reducció més important es produiria al sud de la península.

A la figura 7, que s'ha extret del mateix informe (Brunet et al., 2009) es presenta l'evolució prevista de les temperatures màxima i mínima durant el segle XXI a Catalunya, sobre la base dels resultats de les diverses tècniques de regionalització i disminució d'escala, incloent-hi (a partir de l'any 2071, i per això es destaca la petita inflexió que es produeix en les corbes) els resultats del projecte PRUDENCE. A partir d'aquestes figures, hem elaborat la taula 7 amb els valors cor-

Temperatura	2011-2040		2071-2100	
	B2	A2	B2	A2
Tmàx (°C)	1,5 ± 0,6	1,5 ± 0,6	3,1 ± 1,0	4,7 ± 0,8
Tmín (°C)	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,5	2,8 ± 0,8	4,2 ± 0,7
Tmitjana (°C)	1,4 ± 0,6	1,4 ± 0,6	2,9 ± 1,0	4,4 ± 0,8
Precipitació (%)	-5 ± 5	0 ± 8	-8 ± 6	-12 ± 10

Taula 7. Increments de temperatura (°C) i variació de la precipitació (%) per a Catalunya per a dos escenaris (B2 i A2) i dos horitzons temporals, a partir de les gràfiques de la figura 7.

responents als períodes 2011-2040 i 2071-2100, en què s'han afegit els increments previstos per a la temperatura mitjana, considerant que aquesta es pot estimar com la mitjana entre les temperatures màxima i mínima. En aquests resultats pot-

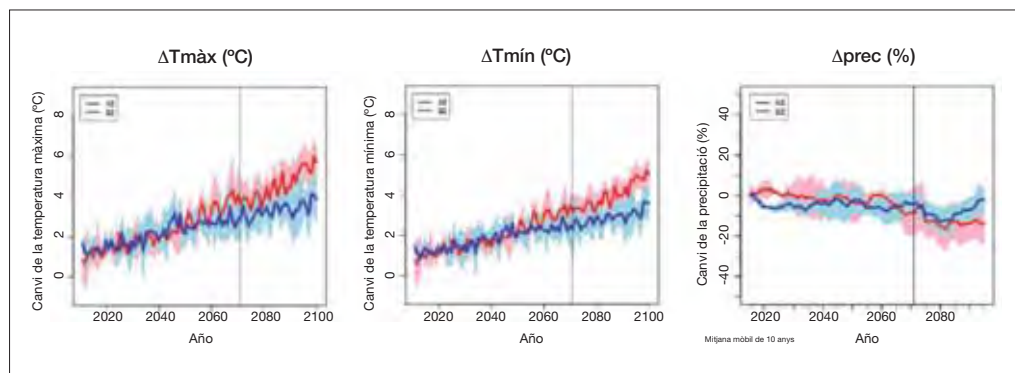


Figura 7. Evolució de la temperatura màxima, de la temperatura mínima (°C) i de la precipitació (%) (mitjanes anuals) per a Catalunya, obtingudes agregant tots els resultats de diferents tècniques de regionalització estadística i dinàmica emprats a l'informe de l'AEMET (Brunet et al., 2009). El període de referència és el 1961-1990. Les línies són la mitjana dels resultats de tots els mètodes i l'ombrejat representa la desviació estàndard. En el cas de la precipitació s'ha aplicat també una mitjana mòbil de 10 anys per eliminar la forta variabilitat interanual.

ser destaca que la disminució de la precipitació durant els primers anys del segle **xxi** seria més significativa per a l'escenari d'emissions B2, que recordem que és el suposa menors emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Encara que aquesta informació és prou interessant, en el sentit que ja s'acosta a l'escala de treball que ens plantejàvem com a objectiu, el cert és que de l'anàlisi detallada dels mapes que es presenten a l'informe, es poden obtenir resultats encara una mica més detallats.

En efecte, de la inspecció detallada de totes les figures escaients que apareixen a l'informe de l'AEMET (és a dir, un gran conjunt de mapes amb escales de colors que mostren les variacions previstes), hem pogut construir la taula 8, en què hom pot distingir les projeccions de la temperatura en tres àrees geogràfiques que hem anomenat: costa (o litoral), interior i muntanya (Pirineus). En tots els casos es donen uns rangs de valors, ja que provenen dels mapes generats amb les diverses tècniques i inclouen també la variabilitat espacial que hi ha dins de les tres àrees definides. D'altra banda, com que per a algunes de les tècniques de regionalització també es donen mapes a resolució mensual, també s'inclouen a la taula els rangs esperats d'augment de temperatura a escala estacional (només per a l'horitzó llunyà de finals del segle **xxi**). Cal dir que, en

aquest cas, l'augment donat correspon a la temperatura màxima. Així, encara que no sigui estrictament comparable amb les projeccions de la temperatura mitjana, dóna una idea de quin és el comportament estacional previst de l'increment de temperatura. En realitat, dels resultats de l'informe es desprèn que els increments de temperatures màximes i mínimes són semblants als de la mitjana; si de cas, una mica més alts (0,2-0,4 °C) els de les màximes. Encara que a l'informe es donen resultats també per a l'escenari B2, aquests s'han obtingut aplicant un sol mètode, i per això no els presentem aquí.

Semblantment, hem inspeccionat detalladament els mapes en què es presenta el canvi de precipitació sobre l'Estat espanyol, dins el mateix estudi (Brunet *et al.*, 2009), i hem pogut resumir la informació a la taula 9, en què de nou hem distingit de forma aproximada entre les tres àrees geogràfiques. Igual que per a la temperatura, en tots els casos donem rangs de valors, ja que provenen dels mapes generats amb les diverses tècniques (incloent-hi resultats de PRUDENCE quan escau) i inclouen també la variabilitat espacial que hi ha dins de les tres àrees definides. Per a l'escenari de finals del segle **xxi** també donem les projeccions per a períodes estacionals. Aquestes taules intenten recollir un consens entre els resultats obtinguts amb els di-

	2011-2040	2071-2100				
		Any	Hivern (DGF)	Primavera (MAN)	Estiu (JJA)	Tardor (SON)
Costa	0,2-1,3	3,5-5,0	2,5-3,5	3,0-4,0	5,0-6,5	3,5-5,0
Interior	0,7-1,8	4-5, 5,0	2,5-4,5	3,5-5,0	6,0-7,5	4,5-6,5
Pirineus	0,7-1,8	4-5, 5,0	2,5-4,5	3,0-5,0	6,5-7,5	5,0-6,0

Taula 8. Increment de temperatura mitjana (°C), per a tres zones de Catalunya, per a l'escenari A2 i dos horitzons temporals, a partir dels resultats de diverses tècniques de regionalització (Brunet *et al.*, 2009). També, increments estacionals de la temperatura màxima a finals del segle **xxi**.

	2011-2040	2071-2100				
		Any	Hivern (DGF)	Primavera (MAN)	Estiu (JJA)	Tardor (SON)
Costa	-10, 0	-20, -10	-10, 0	-10, 0	-40, -20	-15, -5
Interior	-5, +5	-15, -5	-5, +10	-15, -5	-35, -15	-15, -5
Pirineus	0, +10	-5, +5	+5, +15	0, +10	-15, 0	-10, 0

Taula 9. Canvis de la precipitació (%), per a tres zones de Catalunya, per a l'escenari A2 i dos horitzons temporals, a partir de diverses tècniques de regionalització utilitzades a l'informe de l'AEMET. També, canvis estacionals de la precipitació, per a finals del segle **xxi**.

versos mètodes de regionalització i els diversos models globals de base que es consideren en el treball de Brunet *et al.* (2009). A diferència del cas de les temperatures, aquest consens és difícil d'assolir, ja que els valors que es troben presenten una gran dispersió. En particular, els resultats provinents de PRUDENCE (forçats amb HadAM3H) són força més pessimistes (és a dir, presenten disminucions més importants de la precipitació) que la resta pel que fa a l'estiu, i més optimistes per a la tardor. Un altre exemple és el cas de la metodologia d'anàlegs de l'INM, que forçada amb el mateix HadAM3 tendeix a donar augments de precipitació en la meitat freda de l'any, per a la zona de Catalunya.

Com s'ha vingut comentant més amunt, la major part de treballs que s'han trobat i revisat es dediquen només a analitzar els possibles canvis en les variables temperatura i precipitació. Això no obstant, aquest informe de l'AEMET (Brunet *et al.*, 2009) preveu també altres variables, entre les quals hi ha el vent. Segons aquest informe, i en concret sobre la base de les simulacions efectuades en el marc del projecte Prudence, el vent hauria de canviar molt lleugerament a Catalunya en els escenaris climàtics futurs. Concretament, totes les simulacions produeixen canvis que estan dins del rang del $\pm 10\%$, i la major part, en el rang del $\pm 5\%$. A partir dels mapes que es presenten a dit informe només es destaca l'augment general del vent al mes de març, i la disminució (sempre dins dels rangs comentats) durant la tardor i, especialment, al mes de novembre. Cal esmentar un altre article (Rockel i Woth, 2007) que analitza amb més profunditat el comportament del vent, utilitzant el que anomena una parametrització de les ratxes de vent, però també sobre la base dels resultats dels models regionals de Prudence. Segons aquests autors, per a la península ibèrica, només en dos mesos (juliol i novembre) els canvis estimats del vent són significatius (augment del vent mitjà en 0,5 m/s i disminució del mateix ordre, respectivament). A la resta de l'any, els canvis no són significatius, en el sentit que la dispersió entre els resultats dels diversos models és molt més gran que els canvis que indiquen, tot i que sembla existir una tendència a l'augment del vent durant la primavera i estiu, i a la disminució durant les altres dues estacions.

Finalment, al mateix informe també es presenten altres variables (humitat relativa, evaporació, nuvolositat). Respecte a aquesta darrera, i per l'impacte que podria tenir en alguns sectors (turisme, generació d'energia solar), s'han analitzat els resultats. Aquests indiquen que a Catalunya cal esperar, en general, una disminució de la nuvolositat, que seria especialment important entre el maig i l'agost (amb reduccions de fins el -35%). Les excepcions a aquest comportament general serien a la banda atlàntica dels Pirineus, en què de gener a març podria augmentar molt lleugerament la nuvolositat (5%), i les zones del litoral durant els mesos de novembre i desembre (també amb augments molt petits del 5%). Totes aquestes projeccions s'han derivat dels mapes amb els canvis previstos en la nuvolositat, per a finals del segle XXI i l'escenari d'emissions A2, que resulten de l'anàlisi de les sortides dels models regionals emprats a Prudence.

6.3.4. El projecte ENSEMBLES

6.3.4.1. Descripció del projecte

El projecte ENSEMBLES (Hewitt, 2005; www.ensembles-eu.org), finançat entre 2004 i 2009 per la Comissió Europea en el 6è programa marc d'investigació sota la temàtica prioritària de «Canvi global i ecosistemes», vol desenvolupar un sistema de predicció per al canvi climàtic a partir de conjunts de simulacions, i sobre la base dels principals models regionals d'alta resolució desenvolupats a Europa, per produir una estimació probabilística de la incertesa del clima futur en escales que anirien de les estacionals a les de dècades. Vol, també, treballar per reduir les incerteses en diversos components i retroaccions del sistema climàtic, i aplicar els resultats de les projeccions als sectors interessats, com ara el de la gestió de l'aigua, l'agricultura o l'energia. D'alguna manera, ENSEMBLES és hereu del projecte PRUDENCE (2001-2004) i compta amb la participació de 69 grups d'investigació coordinats pel Hadley Centre del Meteorological Office, del Regne Unit.

Amb una mica més de detall, podem dir que aquest projecte està desenvolupant un sistema de predicció climàtica basat en la predicció per conjunts («ensemble») que es pugui utilitzar en es-

cales temporals que vagin de l'estacional, a la de dècades i secular, i en escales espacials de la global a la local. El sistema s'utilitzarà per generar prediccions probabilístiques del clima futur. Aquesta metodologia de predicció per conjunts s'ha generalitzat recentment per a la predicció probabilística en els entorns meteorològic i climàtic. L'objectiu final del projecte és fitar les incerteses de les prediccions seculars de canvi climàtic mitjançant la integració amb diferents escenaris d'emissió, diferents models globals, diferents models regionals i també diferents tècniques estadístiques de regionalització, i proporcionar també mètodes per pesar i combinar els diferents resultats en una única predicció probabilística. Així doncs, cal esperar que els resultats d'aquest projecte representin un salt remarcable en l'evolució de les projeccions climàtiques. Sens dubte que, d'ara en endavant, totes les publica-

cions resultat d'aquest projecte seran tan importants per a les projeccions climàtiques com en els últims anys ho han estat les del projecte Prudence.

Els diferents objectius plantejats al projecte s'han de desenvolupar mitjançant diferents tasques i activitats emmarcades en deu temes d'investigació («research themes», RT). Per als objectius del present treball ens interessen part de les tasques dels RT3 i RT2B. El primer proporciona els millors models climàtics regionals (RCM) disponibles amb elevades resolucions espacials (50 km o, fins i tot, 25 km), mentre que al segon es fan les simulacions amb els RCM per a Europa per als períodes 1950-2050 i, en ocasions, 1951-2100.

A l'actualitat (novembre 2009, taula 10) al web del projecte hi ha disponibles simulacions regionals de tretze institucions o centres, fetes sobre la base de l'escenari A1B, i utilitzant preferentment

Centre / Institució	Model global	Model regional	Resolució
Community Climate Change Consortium for Ireland (C4I)	HadCM3Q16	RCA3	25 km
Météo-France, Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)	Arpege	Aladin	25 km
Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)	ECHAM5-r3	Racmo	25 km
	ECHAM5-r1	Racmo	50 km
	ECHAM5-r2	Racmo	50 km
	ECHAM5-r3	Racmo	50 km
	MIROC	Racmo	50 km
Consortium on Regional Climatology and Adaptation to Climate Change (OURANOS)	CGCM3	CRCM	25 km
Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	ECHAM5-r3	RCA	50 km
	RCA	25 km	
	ECHAM5-r3	RCA	25 km
	HadCM3Q3	RCA	25 km
Max-Planck Institut (MPI)	ECHAM5-r3	Remo	25 km
Norwegian Meteorological Institute (METNO)	BCM	Hirham	25 km
	HadCM3Q0	Hirham	25 km
Universitat de Castella-la Manxa (UCLM)	HadCM3Q0	Promes	25 km
Swiss Federal Institute of Technology of Zurich (ETH Zurich)	HadCM3Q0	CLM	25 km
Hadley Centre (HC)	HadCM3Q0	HadRM3Q0	25 km
	HadCM3Q3	HadRM3Q3	25 km
	HadCM3Q16	HadRM3Q16	25 km
The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)	ECHAM5-r3	RegCM	25 km
Voeikov Main Geophysical Observatory (VMGO)	HadCM3Q0	RRCM	25 km
Danish Meteorological Institute (DMI)	Arpege	Hirham	25 km
	ECHAM5-r3	DMI-HIRHAM5	25 km

Taula 10. Detalls de les simulacions disponibles a ENSEMBLES per a l'escenari A1B.

com a condicions de contorn les sortides dels models globals HadCM3 i ECHAM5. Puntualment, també hi ha RCM niats amb altres models globals com ARPEGE, CGCM3, MIROC o BCM. Igualment, hi ha alguns RCM que proporcionen diferents simulacions ja que han estat niats amb més d'un model global per constatar possibles diferències com a conseqüència d'aquest fet.

Del web del projecte es poden descarregar lliurement els fitxers amb les dades de les simulacions que contenen més d'un centenar de variables per a finestres compreses entre els 30° N - 70° N de latitud i els 24° W - 45° E de longitud. Per facilitar la descàrrega de les dades en un format senzill de tractar, també hi ha la possibilitat de fer una descàrrega personalitzada utilitzant una aplicació específica (DODS/OpenDAP Access). Igualment, les simulacions dels diferents models, cadascun amb el seu propi sistema de projecció, s'han hagut de convertir a retícules regulars de 0,25 o 0,50 (de latitud i longitud), iguals que, per exemple, els productes disponibles a la Climatic Research Unit (CRU) (<http://www.cru.uea.ac.uk/>) de la Universitat d'East Anglia i a l'*European Climate Assessment & Dataset* (<http://eca.knmi.nl/>). Aquesta conversió permet tenir els resultats de tots els models amb el mateix sistema de coordenades, fet que en facilita l'agregació.

6.3.4.2. Metodologia d'anàlisi

En el present treball s'han utilitzat les simulacions de cinc models RCM disponibles a Ensembles, tots ells per a l'escenari A1B, amb unes resolucions espacials de 25 km i convertides a retícules regulars de 0,25 com les de la CRU. A continuació es detallen les simulacions dels models RCM analitzades, així com el model global que li proporciona les condicions de contorn (entre parèntesis) i la institució encarregada:

- Remo (ECHAM5-r3), Max-Planck Institut, Alemanya.
- Promes (HadCM3Q0), Universitat de Castella-la Manxa, Espanya.
- HadRM3Q0 (HadCM3Q0), Hadley Centre, Anglaterra.
- RegCM (ECHAM5-r3), International Centre for Theoretical Physics, Itàlia.
- DMI-HIRLAM5 (ECHAM5-r3), Danish Meteorological Institute, Dinamarca.

Així, s'han utilitzat tres models RCM niats al model global alemany ECHAM5, mentre que els dos restants ho estan a l'anglès HadCM3. Totes les simulacions estan disponibles per al període 1951-2100, excepte les del model Promes limitades al 1951-2050.

Per a cadascun dels models seleccionats hem descarregat, a resolució mensual, les següents va-

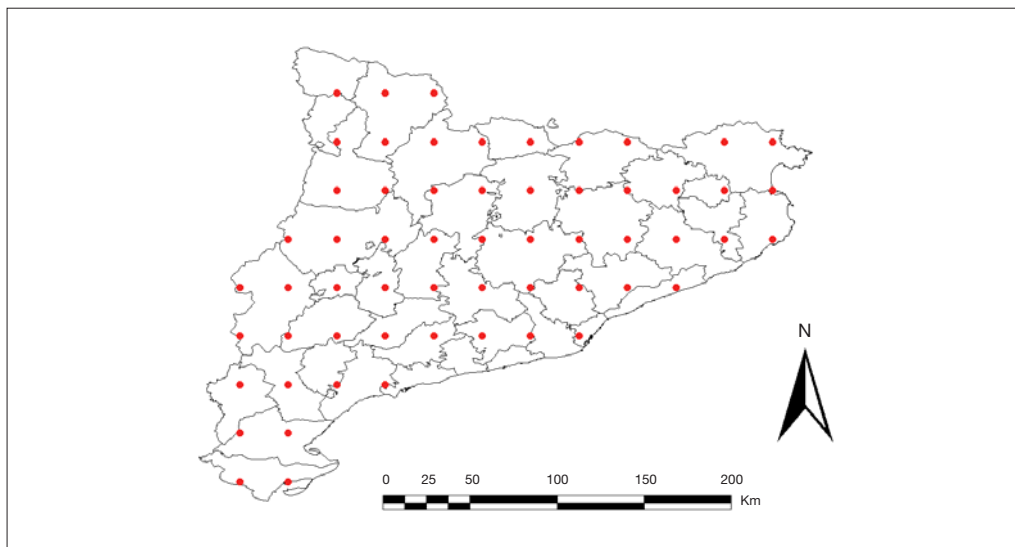


Figura 8. Localització, sobre Catalunya, dels centres de les cel·les utilitzades per analitzar els resultats proporcionats per les simulacions dels models RCM del projecte Ensembles.

riables: temperatura mitjana ($^{\circ}\text{C}$), precipitació (mm), radiació solar (irradiància, Wm^{-2}) i velocitat del vent (m/s). De tota la malla disponible per a Europa, hem seleccionat per a les posteriors anàlisis totes aquelles cel·les que tenen el seu centre sobre el territori de Catalunya. Encara que s'han descartat cel·les que cobreixen parcialment territori català, el criteri seguit permet evitar subjecció en la selecció. En total, hi ha 59 cel·les que compleixen el criteri esmentat (figura 8).

Per obtenir les sèries conjuntes de Catalunya per a cada variable climàtica en el període 1951-2100, hem calculat les sèries mitjanes a resolució anual, així com per a l'hivern (desembre, gener i febrer) i l'estiu (juny, juliol i agost) de cadascun dels models. Les esmentades sèries s'han convertit en anomalies (en % per a les precipitacions i velocitat del vent) respecte al període de referència 1971-2000, i, finalment, hem calculat la

sèrie mitjana com el valor mitjà de les sèries d'anomalies de tots els models. Per suavitzar la representació temporal de les sèries i millorar la visualització de la seva variabilitat entre dècades, hem aplicat un filtre passabaix gaussià de 31 anys. Igualment, hem calculat les tendències lineals per al període 2001-2100, i n'hem avaluat la significació ($\leq 0,05$) a partir del test no paramètric de Mann-Kendall.

Finalment, també hem calculat i cartografiat les diferències per a totes les cel·les analitzades en els períodes 2021-2050 i 2071-2100 respecte al període de referència 1971-2000.

6.3.4.3. Resultats per a Catalunya

En la figura 9 es mostra l'evolució temporal de les variables seleccionades sobre Catalunya durant el període 1951-2100. En les temperatures mitjanes anuals (figura 9a) s'observa un augment

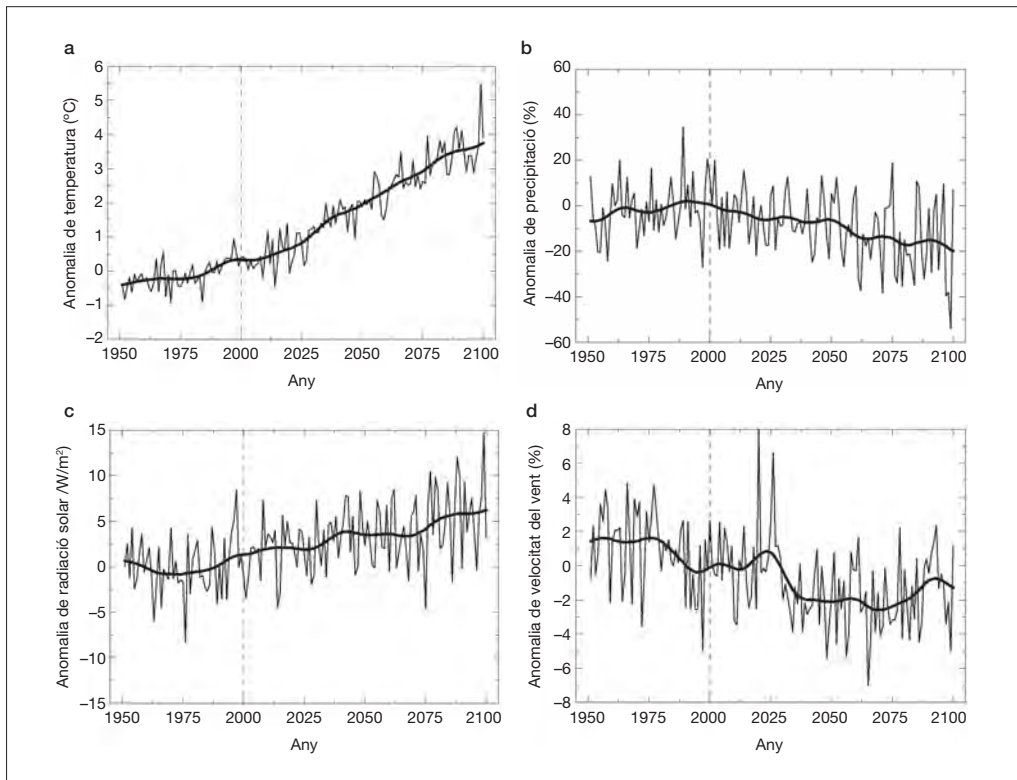


Figura 9. Evolució temporal (1951-2100) de les sèries mitjanes anuals de diferents variables climàtiques obtingudes emprant cinc simulacions de models RCM del projecte Ensembles per a Catalunya: a) temperatura mitjana ($^{\circ}\text{C}$); b) precipitació (%); c) radiació solar (Wm^{-2}); d) velocitat del vent (%). El període de referència és el 1971-2000. Les línies gruixudes representen l'evolució suavitzada amb filtres passabaix gaussians de 31 anys.

constant durant tot el segle XXI, i es mostra un augment significatiu de 0,40 °C per dècada. Les tendències també són significatives a escala estacional, i presenten una major taxa d'augment a l'estació estival (0,52 °C / dècada) que a la hivernal (0,33 °C / dècada). En tot cas, l'evolució temporal de les temperatures simulades durant el període 1951-2000 no semblen reproduir amb total fidelitat les tendències observades (p. ex., Brunet *et al.*, 2007), en no mostrar les primeres el descens o estabilització que es produeix entre 1950 i principis de 1970.

Les precipitacions mitjanes anuals simulades (figura 9b) mostren un descens progressiu durant el període analitzat, encara que amb un descens més acusat durant les últimes dècades del segle XXI. En conjunt, la sèrie mostra un descens significatiu de -1,8% per dècada a resolució anual. A escala estacional, s'aprecia una clara estacionalitat de les mateixes, ja que presenta un clar descens significatiu a l'estiu (-5,1% per dècada) i una tendència no significativa a l'hivern.

La radiació solar (figura 9c) presenta una tendència positiva durant el segle XXI, encara que es poden apreciar dos períodes de clar augment durant les tres primeres i últimes dècades, mentre que entre 2040 i 2070 es constata un període d'estabilització en els seus valors. En conjunt, per al període 2001-2100, la tendència és positiva i significativa amb un 0,5 Wm⁻² per dècada. Com en la precipitació, s'observa una clara diferenciació entre les tendències estivals i hivernals, en què les primeres són positives (1,2 Wm⁻² per dècada) i les segones són negatives (-0,5 Wm⁻² per dècada), ambdues estadísticament significatives.

Respecte a la velocitat del vent, es constata un descens durant el segle XXI a resolució anual (figura 9d), encara que durant el primer quart de segle s'aprecia un període d'estabilització seguit

d'un brusc descens fins al començament de la dècada de 2040. Després, hi ha una lleugera tendència negativa, per finalitzar amb un lleuger repunt durant les últimes dues dècades del segle. La tendència anual és negativa i significativa, amb un valor de -0,2% per dècada. A escala estacional, les tendències s'inverteixen respecte al comportament detectat en les altres variables analitzades, ja que a l'hivern es detecta un descens acusat significatiu (-0,4% per dècada) mentre que no hi ha significació a l'estiu.

A la taula 11 es resumeixen les anomalies mitjanes registrades en el conjunt de Catalunya, per a les variables i models RCM seleccionats, i en els períodes 2021-2050 i 2071-2100 respecte al període de referència 1971-2000. Els resultats constaten el que ja s'ha apuntat anteriorment, amb un augment d'1,2 °C i 3,4 °C en les temperatures mitjanes anuals per al primer i segon període, respectivament, en què és més gran l'augment a l'estació estival que a la hivernal. Pel que fa a les precipitacions, observem un descens aproximat del -6% per al 2021-2050, tant a escala anual com estacional. En canvi, a finals del segle XXI sembla que la taxa de descens anual s'aguditza (-16%), encara que es concentra la disminució a l'estiu (-30%), mentre que les precipitacions hivernals es recuperen fins a nivells pròxims al període 1971-2000. Respecte a la radiació solar, s'estima un canvi de 2,9 Wm⁻² per al 2021-2050; aquest canvi assoleix un valor de 5,5 Wm⁻² per a finals del segle XXI. Respecte a la velocitat del vent, s'estima un canvi anual de -1,7% per al 2021-2050, i s'assoleixen valors de fins a -2,4% per a finals del segle XXI.

A les figures 10-13 es mostren els mapes amb els canvis previstos de les variables seleccionades per a Catalunya, a partir de les anomalies obtingudes a cada un dels punts de malla, en els

	2021-2050			2071-2100		
	Any	Hivern	Estiu	Any	Hivern	Estiu
Temperatura (°C)	+1,35	+1,20	+1,73	+3,36	+2,69	+4,44
Precipitació (%)	-5,68	-6,45	-6,87	-16,08	-1,20	-30,12
Radiació solar (W/m ²)	+2,89	+1,48	+1,64	+5,47	-2,04	+7,52
Velocitat del vent (%)	-1,67	-1,97	-1,51	-2,41	-1,92	-1,57

Taula 11. Resum de les projeccions dels cinc models RCM seleccionats del projecte ENSEMBLES. Es mostren els canvis entre les mitjanes de tot Catalunya de diferents variables climàtiques per als períodes 2021-2050 i 2071-2100 respecte al període de referència 1971-2000.

períodes 2021-2050 i 2071-2100. Per a les temperatures mitjanes anuals (figura 10), s'aprecia una menor taxa d'augment a la franja costanera (aproximadament 1,2 °C) respecte al valor mitjà del conjunt de Catalunya en el període 2021-2050. De forma similar, a l'estiu hi ha uns augments lleugerament inferiors (aproximadament 1,5 °C) a la mitjana en sectors costaners (especialment a les Terres de l'Ebre). En tot cas, durant l'estiu també es detecten augments per sobre de

la mitjana als sectors més occidentals dels Pirineus (sobretot a la Vall d'Aran), on s'estimen uns augments que ronden els 2,0 °C. El patró espacial de les anomalies es manté en el període 2071-2100 amb valors sempre per sobre de la mitjana de Catalunya als sectors dels Pirineus i Prepirineus. Així, per a finals del segle XXI s'estimen uns augments anuals que podrien superar els 3,7 °C en aquests sectors, i que podrien superar els 5 °C durant l'estiu.

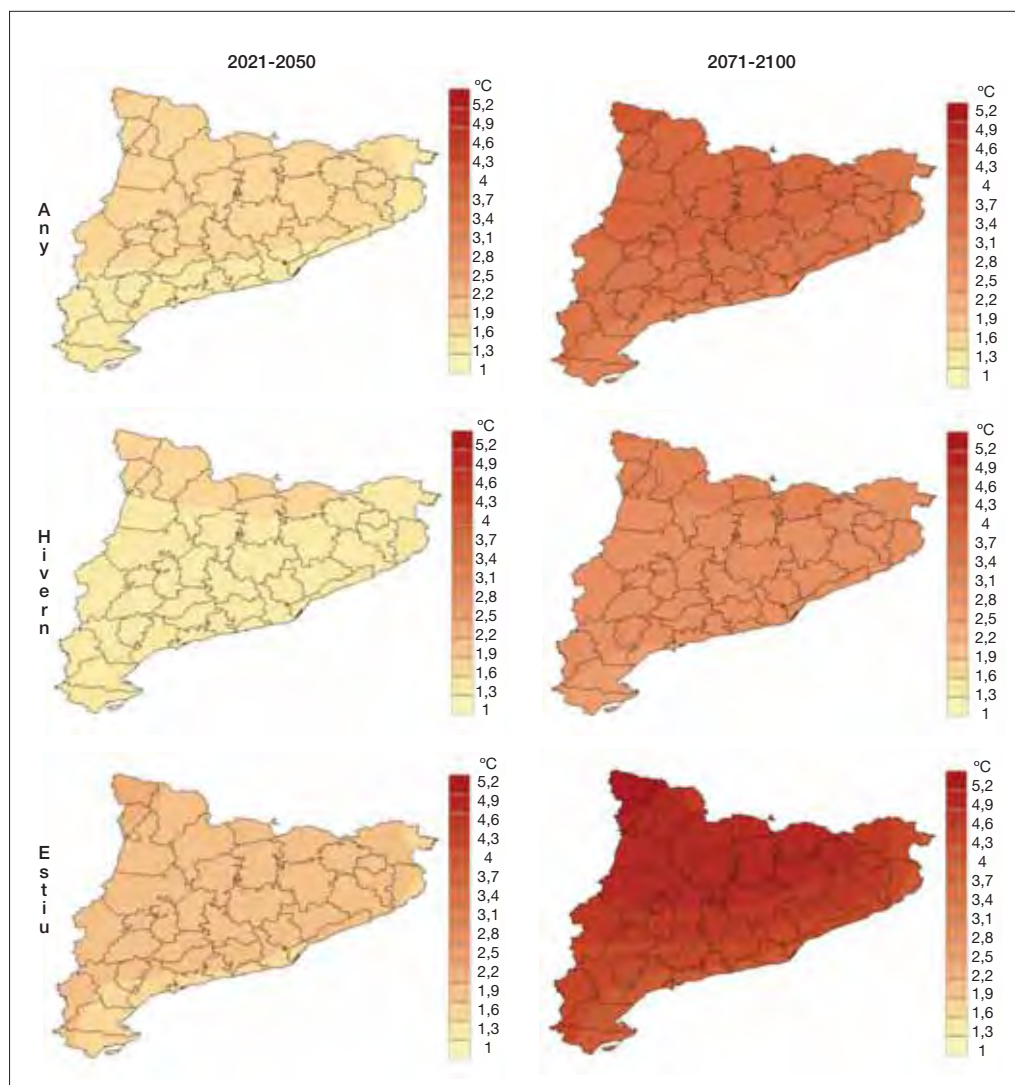


Figura 10. Augments de la temperatura (°C) anual (a dalt), hivernal (al mig) i estival (a baix) a Catalunya a partir de les simulacions seleccionades del projecte ENSEMBLES a 25 km de resolució, per a l'escenari d'emissions A1B, i per als períodes 2021-2050 (esquerra) i 2071-2100 (dreta). Període de referència, 1971-2000.

Encara que les precipitacions mostren una major complexitat espacial en els canvis projectats per al futur (figura 11), se n'aprecia un descens generalitzat a resolució anual per al període 2021-2050. Tot i així, als sectors més meridionals de Catalunya es detecten lleugers augments, fet que es repeteix tant a l'hivern com a l'estiu. Les estimacions per al 2071-2100 mostren un major descens generalitzat a totes les comarques catalanes, amb màxims que ronden els -20% en sectors dels Prepirineus. En canvi, a l'hivern s'ob-

serva com la major part del territori no mostra canvis importants, i, fins i tot, ronden augments d'un 4%, aproximadament, a la Plana de Lleida, l'Empordà i els Pirineus orientals. En canvi, per a l'estiu, les simulacions pronostiquen un descens generalitzat de les precipitacions sobre el territori de Catalunya, presentant descensos que superen el -30% en àrees de l'interior compreses principalment per les comarques del Solsonès i la Segarra, així com per àrees nord-orientals del Maresme, la Selva, el Gironès i el Pla de l'Estany.

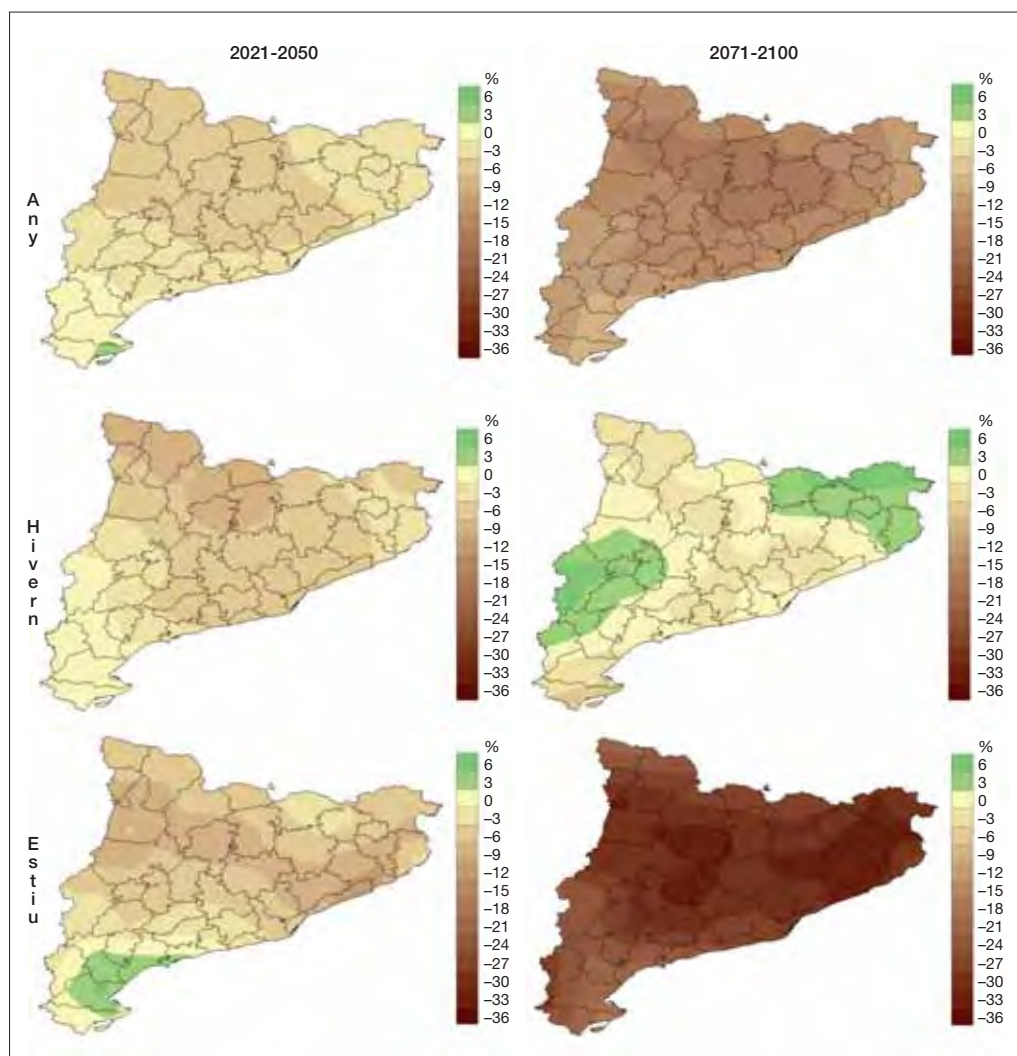


Figura 11. Canvis de la precipitació (%) anual (a dalt), hivernal (al mig) i estival (a baix) a Catalunya a partir de les simulacions seleccionades del projecte ENSEMBLES a 25 km de resolució, per a l'escenari d'emissions A1B, i per als períodes 2021-2050 (esquerra) i 2071-2100 (dreta). Període de referència, 1971-2000.

En canvi, els descensos menors es concentren en els sectors dels Pirineus, així com en punts meridionals de les Terres de l'Ebre, on s'obtenen les anomalies mínimes per a tot Catalunya, que, malgrat tot, són també importants (-21%).

La radiació solar (figura 12) projectada per al període 2021-2050 presenta un clar augment, amb un patró espacial homogeni a resolució anual i hivernal. En canvi, per a l'estiu s'aprecia un major augment respecte a la mitjana del conjunt als sectors més nord-occidentals, i se superen els 6 Wm^{-2}

a la Val d'Aran. La característica més vistosa de les simulacions per al període 2071-2100 és el descens de la radiació solar a l'hivern, en què s'assoleixen les majors anomalies negatives en els sectors més septentrionals de Catalunya, amb aproximadament -5 Wm^{-2} en àrees dels Pirineus occidentals. A l'estiu, les anomalies són positives, com les del conjunt de l'any, i, igual que en el període 2021-2050, els majors augments es concentren en les comarques més nord-occidentals de Catalunya, amb valors que s'aproximen als 15 Wm^{-2} .

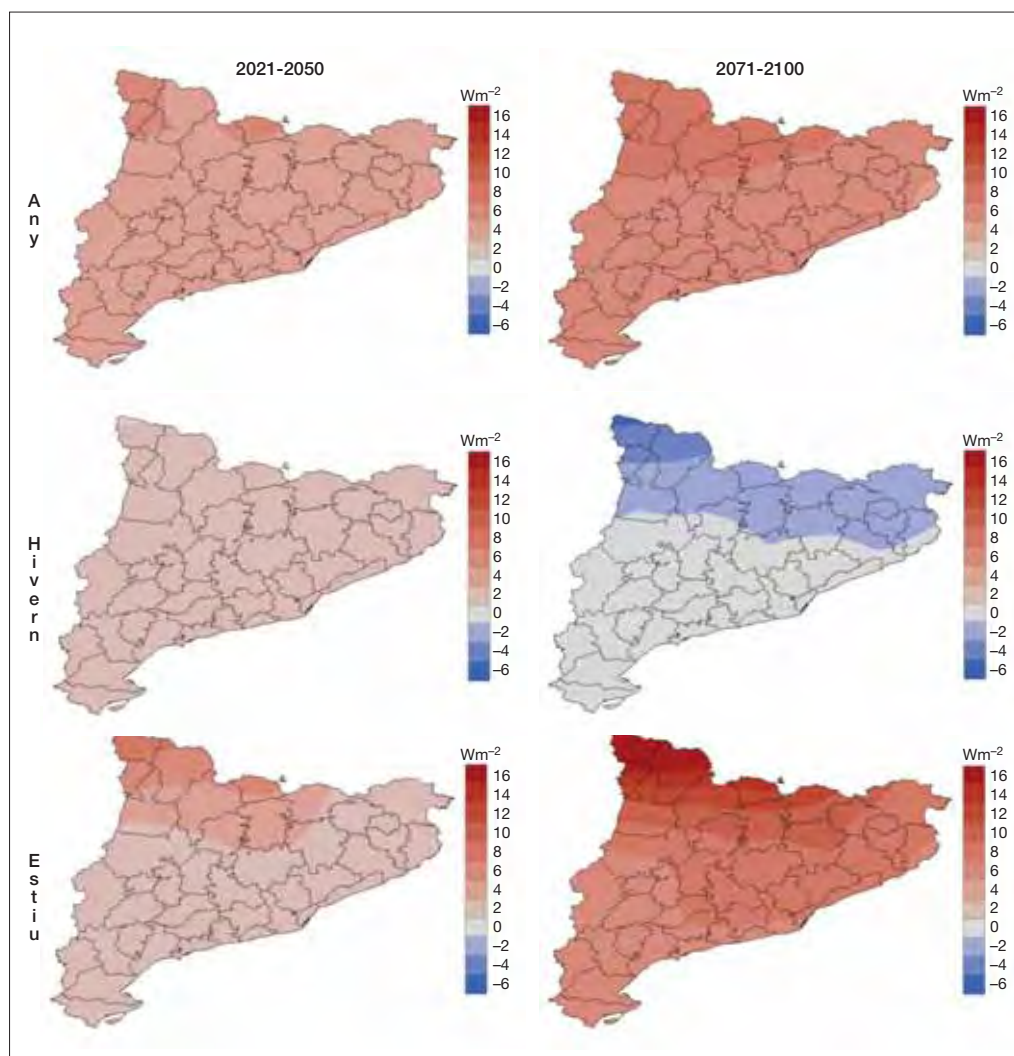


Figura 12. Canvis de la radiació solar (Wm^{-2}) anual (a dalt), hivernal (al mig) i estival (a baix) a Catalunya a partir de les simulacions seleccionades del projecte ENSEMBLES a 25 km de resolució, per a l'escenari d'emissions A1B, i per als períodes 2021-2050 (esquerra) i 2071-2100 (dreta). Període de referència, 1971-2000.

Finalment, la velocitat del vent (figura 13) presenta el patró espacial més complex de totes les variables analitzades. Amb tot, s'aprecia per al període 2021-2050 un descens generalitzat de la velocitat del vent a Catalunya. Encara que a l'hivern s'aprecia una anomalia mitjana inferior a l'estival, és en aquesta última estació on es regis-

tra el màxim descens en el territori català. Així, mentre que a l'estiu a la major part del territori no s'aprecien descensos importants en la intensitat del vent, als sectors més nord-occidentals s'assoleixen descensos propers al -5%. Les simulacions del període 2071-2100 constaten unes majors taxes de descens generalitzades per

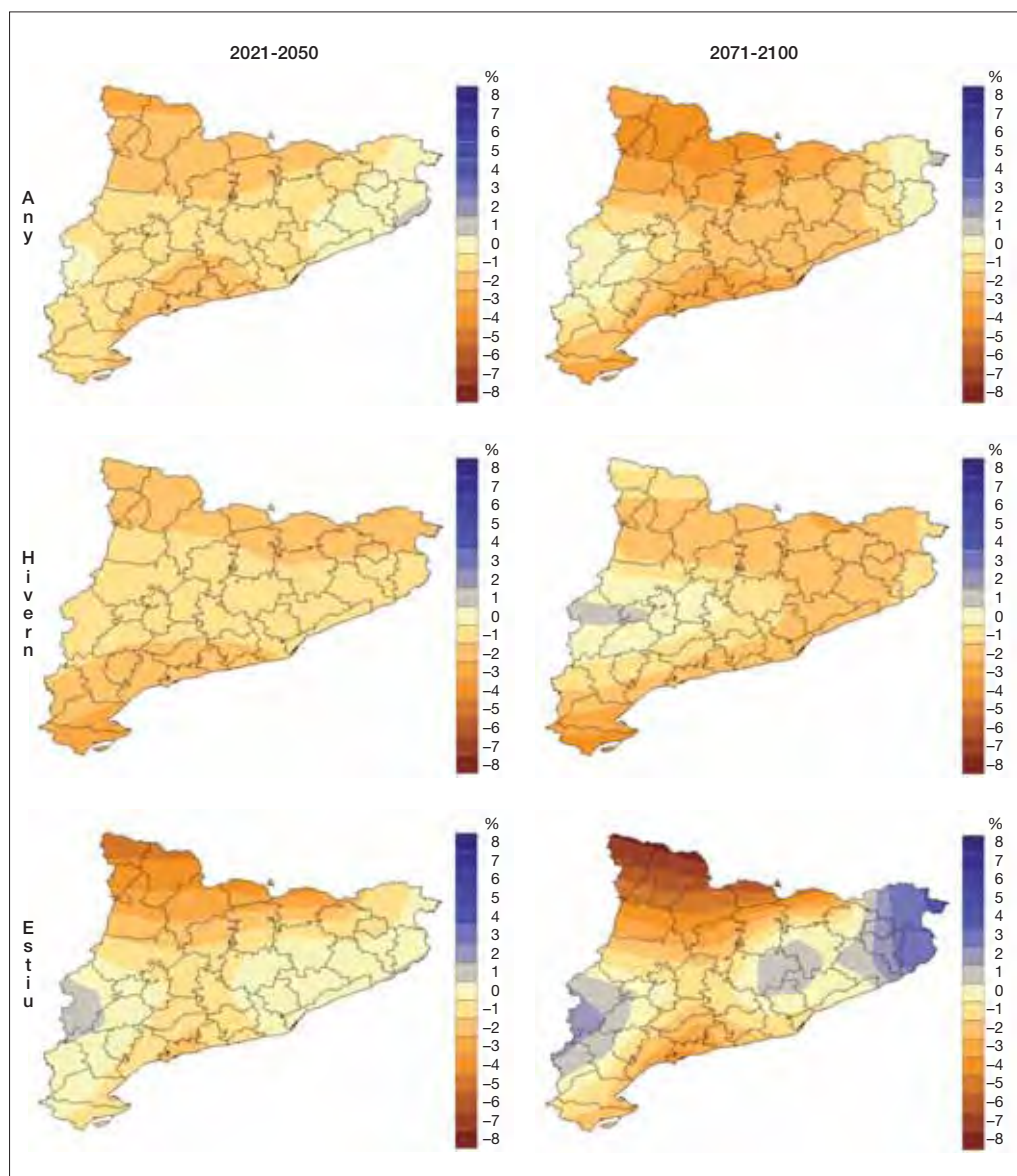


Figura 13. Canvis de la velocitat del vent (%) anual (a dalt), hivernal (al mig) i estival (a baix) a Catalunya a partir de les simulacions seleccionades del projecte ENSEMBLES a 25 km de resolució, per a l'escenari d'emissions A1B, i per als períodes 2021-2050 (esquerra) i 2071-2100 (dreta). Període de referència, 1971-2000.

al conjunt de l'any i l'hivern. Tot i així, de nou durant l'estiu es constata el major descens en àrees dels Pirineus occidentals, amb valors aproximats del -8%. Al contrari, i a diferència del constatat als mapes anteriors, s'aprecia un augment de la velocitat del vent en punts del Segrià, el Bages, Osona i, especialment, l'Empordà, on es constaten augments que s'aproximen al 3%.

6.3.5. Les projeccions del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)

6.3.5.1. El que diuen els models climàtics globals

Més amunt ja s'ha comentat que malgrat la baixa resolució dels models globals, aquests es poden emprar fins i tot a escala regional o local amb l'objectiu de tenir una primera estimació dels canvis projectats en el clima d'una determinada àrea geogràfica. Així ho ha fet el Servei Meteorològic de Catalunya, que per conèixer els canvis projectats pels models climàtics globals a Catalunya ha escollit el màxim nombre possible de simulacions climàtiques realitzades en el marc de l'IPCC-AR4. Aquestes simulacions estan disponibles lliurement per a la comunitat científica al World Data Center for Climate (WDC) d'Hamburg a través del portal d'Internet CERA (<http://cera-www.dkrz.de/CERA/>). Concretament, pel que fa a les projeccions, s'han extret resultats de fins a 40 simulacions realitzades amb 11 models diferents (48 i 13, respectivament, pel cas de la precipitació), que combinen diversos escenaris d'emissions i diverses parametritzacions i sensibilitats climàtiques. Seleccionant només els valors de les cel·les d'aquestes simulacions que cauen dins de l'àmbit geogràfic de Catalunya (caixa definida per 0-3,5° E i 40,5°-43° N), es pot obtenir una bona estimació del rang de variació projectat segons aquests models globals per a l'evolució de les temperatures i les precipitacions durant el segle XXI, en relació amb el període climàtic de referència 1961-1990. Així doncs, a la figura 14 es representen les evolucions anuals de les anomalies de temperatura i precipitació (mitjanes per al conjunt de Catalunya) durant el període 1860-2100. Com a referència, també s'hi representen les anomalies mitjanes anuals de temperatura observades des de 1869 fins a 2008

(dades extretes de Brunet *et al.*, 2001, actualitzades amb dades de l'SMC) i de precipitació des de 1898 fins a 2008 (Barrera-Escoda, 2008). Es pot observar com el rang de variabilitat produït pels models és comparable a l'observat, o fins i tot major, en el cas de la precipitació. És notable l'increment de temperatura projectat pels diferents models, el qual es troba fitat entre els 1,5 °C i els 6 °C, amb un valor mitjà de 3,5 °C per a finals del segle XXI. D'altra banda, es veu que els valors de temperatura des de finals del segle passat es troben en el rang de valors del percentil 95 de les simulacions. Aquest fet posa de manifest que la gran major part de models globals estan probablement subestimant l'augment en les temperatures i, per tant, l'augment projectat de temperatura per a aquest segle podria estar en la fita superior de les projeccions considerades. Finalment, caldria destacar la gran dispersió de resultats a l'evolució de la precipitació, tot i que, malgrat aquesta diversitat de projeccions, dominen les que indiquen una disminució al voltant d'un 25% cap a finals del segle XXI.

6.3.5.2. Regionalització climàtica amb un model d'alta resolució

El model meteorològic de mesoescala MM5 (Grell *et al.*, 1994; Dudhia *et al.*, 2004) s'ha emprat per a fer les regionalitzacions dinàmiques del clima actual (1971-2000) i futur a Catalunya per als períodes 2001-2020, 2041-2060 i 2081-2100 i forçat amb dos escenaris d'emissions diferents: un de moderat (B1) i un de sever (A2). S'han escollit aquests períodes perquè resumeixen perfectament el fet que es pot dividir l'evolució del clima durant el segle XXI en tres grans blocs en funció de quin pot arribar a ser l'efecte dels diferents escenaris d'emissions considerats en realitzar projeccions climàtiques amb un mateix model climàtic: impacte lleu i amb poques diferències entre els escenaris a principis de segle; impacte moderat i diferències notables entre les simulacions per a meitat de segle; i, finalment, un impacte important i diferències molt considerables (i amb incerteses també rellevants) entre les projeccions per a finals de segle. Les simulacions realitzades amb l'MM5 s'han desenvolupat a través d'una integració formada per tres dominis niats unidireccionalment de 135, 45 i 15 km

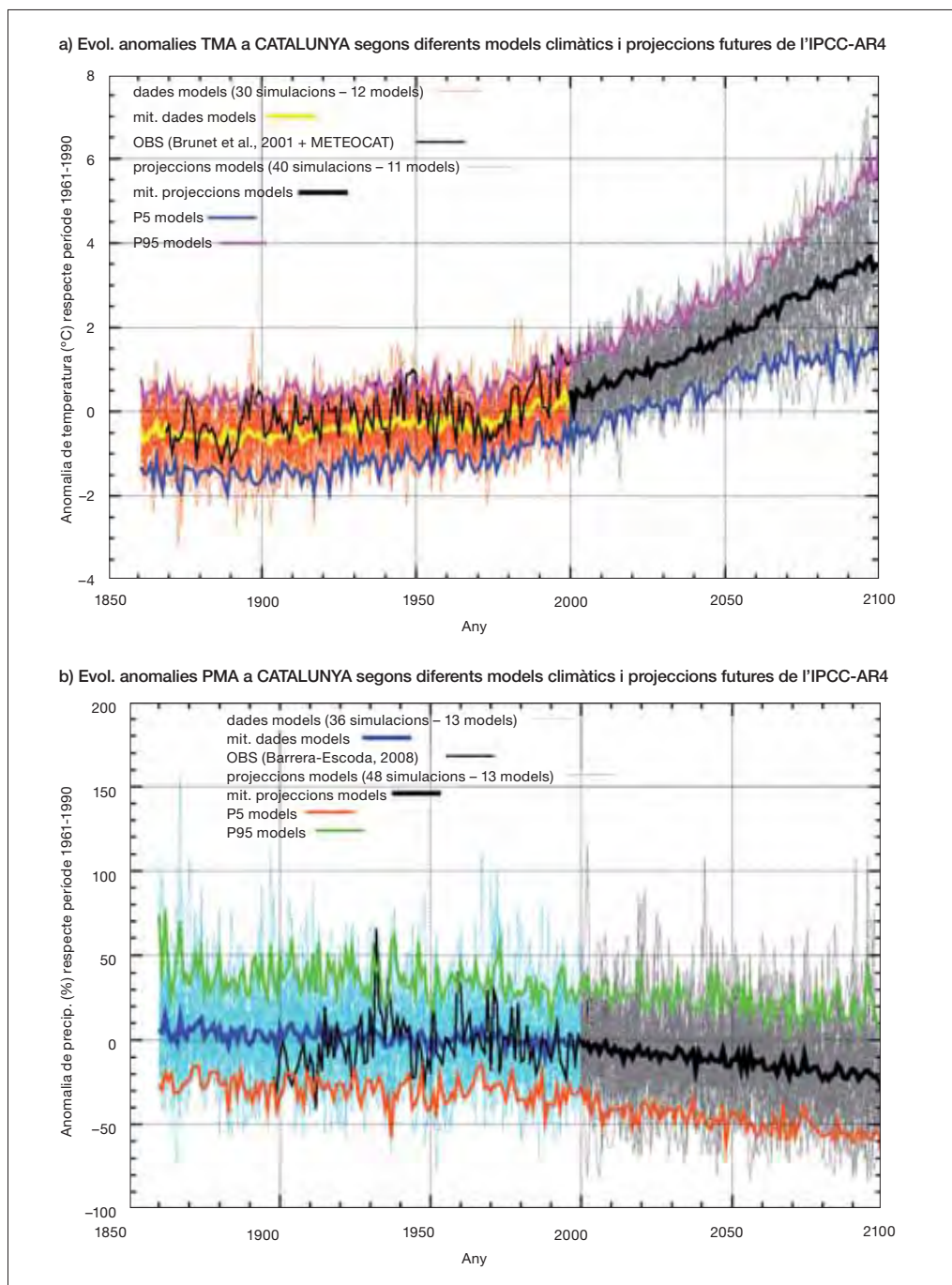


Figura 14. Evolució de les anomalies mitjanes anuals de temperatura (a) i precipitació (b) per al conjunt de Catalunya per al període 1860-2100 obtingudes a partir de les simulacions de diferents models climàtics globals desenvolupades en el si del quart informe de l'IPCC. Les anomalies estan calculades respecte al període de referència 1961-1990. OBS, observacions; TMA, temperatura mitjana anual; PMA, precipitació mitjana anual; mit., mitjana; evol., evolució; precip., precipitació; P5, percentil 5 del conjunt de valors anuals de les simulacions; i P95, percentil 95.

de resolució horitzontal, respectivament, i amb 23 nivells verticals.

Per a les simulacions del clima actual s'han utilitzat com a condicions de contorn les reanàlisis del Centre Europeu de Predicció a Termini Mitjà (ECMWF) (ERA-40 de 2,5° de latitud i longitud de resolució espacial horitzontal; Uppala *et al.*, 2005). D'altra banda, per a les projeccions futures dels diferents escenaris climàtics regionalitzats s'han emprat com a condicions de contorn les integracions realitzades per a l'IPCC-AR4 amb el model acoblat atmosfera-oceà de circulació general, de l'ECMWF i del Max-Planck Institut für Meteorologie d'Hamburg (ECHAM5-MPIOM) de 1,875 de resolució espacial horitzontal (Roeckner *et al.*, 2003). Totes les dades de contorn utilitzades estan disponibles cada 6 h (00, 06, 12 i 18 UTC).

Les simulacions regionalitzades s'han realitzat aplicant la tècnica del *nudging* o forçament dinàmic al domini mare (resolució de 135 km, cobreix l'àrea 50 W a 50 E i 17 N a 58 N). Aquesta tècnica consisteix de forçar la simulació a seguir les condicions de contorn donades pel model global des de l'inici fins al final de la integració. D'aquesta manera, s'aconsegueix garantir la continuïtat de massa en les simulacions i que les simulacions obtingudes siguin consistents amb els patrons de gran escala presents al model global (Salathé *et al.*, 2008). Els dominis segon (resolució, 45 km, cobreix l'àrea 12° W a 8° E i 32° N a 47° N) i tercer (resolució, 15 km, cobreix bàsicament la Catalunya estricta) s'integren sense aquest forçament perquè, així, el model de mesoescala pugui reproduir lliurement els fenòmens de petita escala que es produeixen en el si d'aquests dos dominis, i perquè la tècnica de regionalització dinàmica emprada sigui realment efectiva. Totes les simulacions s'han dividit en simulacions contínues de cinc anys, reinicialitzades cada cinc anys.

Cal esmentar que les dimensions dels dominis d'integració s'han ajustat al màxim per tal de minimitzar el temps de càlcul i l'espai d'emmagatzematge en disc de les dades de sortida. L'elecció de la combinació de parametritzacions físiques utilitzades és fonamentada per treballs previs sobre simulacions llargues amb l'MM5 (de l'ordre de cinc anys) a la península ibèrica, com per exem-

ple Fernández *et al.* (2007). Segons aquests autors, no sembla haver-hi cap combinació òptima per definir totes les característiques del clima a escala regional. S'aconsella, doncs, utilitzar una combinació de parametritzacions que minimitzi el temps de càlcul, retenint la part essencial pel que fa a la modelització de les característiques espacio-temporals de la temperatura i la precipitació. Així doncs, s'ha escollit l'algorisme de Grell (Grell, 1993; Grell *et al.*, 1994) per a la convecció, la parametrització de gel simple (*simple ice*) (Dudhia, 1989) per a la microfísica, un esquema de radiació amb núvols (*cloud*) (Dudhia, 1989; Grell *et al.*, 1994), l'esquema MRF (Hong i Pam, 1996) per a la capa límit planetària; i, finalment, un model simple de sòl de cinc capes (Dudhia, 1996).

Abans del desenvolupament de les projeccions regionalitzades del clima futur a Catalunya, cal assegurar que el mètode proposat per fer-les és capaç de reproduir les característiques espai-temporals observades de la temperatura i la precipitació. Això significa veure si el model és capaç de generar els patrons espacials d'aquests camps, la variabilitat interanual d'aquestes variables, així com els seus cicles anual i estacional i les seves distribucions de freqüència. Per aquest motiu, s'ha realitzat la simulació amb les reanàlisis de l'ERA-40 per al període 1971-2000 per comprovar si el model MM5 és capaç de reproduir les característiques espai-temporals de la precipitació i de la temperatura en aquest període. Atès que la precipitació és molt més irregular espacialment i temporalment que la temperatura, només es presenta aquí la verificació de la precipitació simulada. Cal esmentar, però, que les característiques espai-temporals (variabilitat interanual, tendències i distribució espacial) de la temperatura estan ben simulades pel model MM5, tot i que s'obté un biaix fred important en els valors simulats. Aquest biaix fred també es detectava en els pronòstics de la versió del model MM5 que corria de manera operativa (per a la predicció meteorològica) al Servei Meteorològic de Catalunya (Sairouni *et al.*, 2007).

A la figura 15 es presenten els camps de precipitació mitjana anual obtinguts a cada domini d'integració, l'obtingut directament de la precipitació tal com es dona a l'ERA-40 i el camp

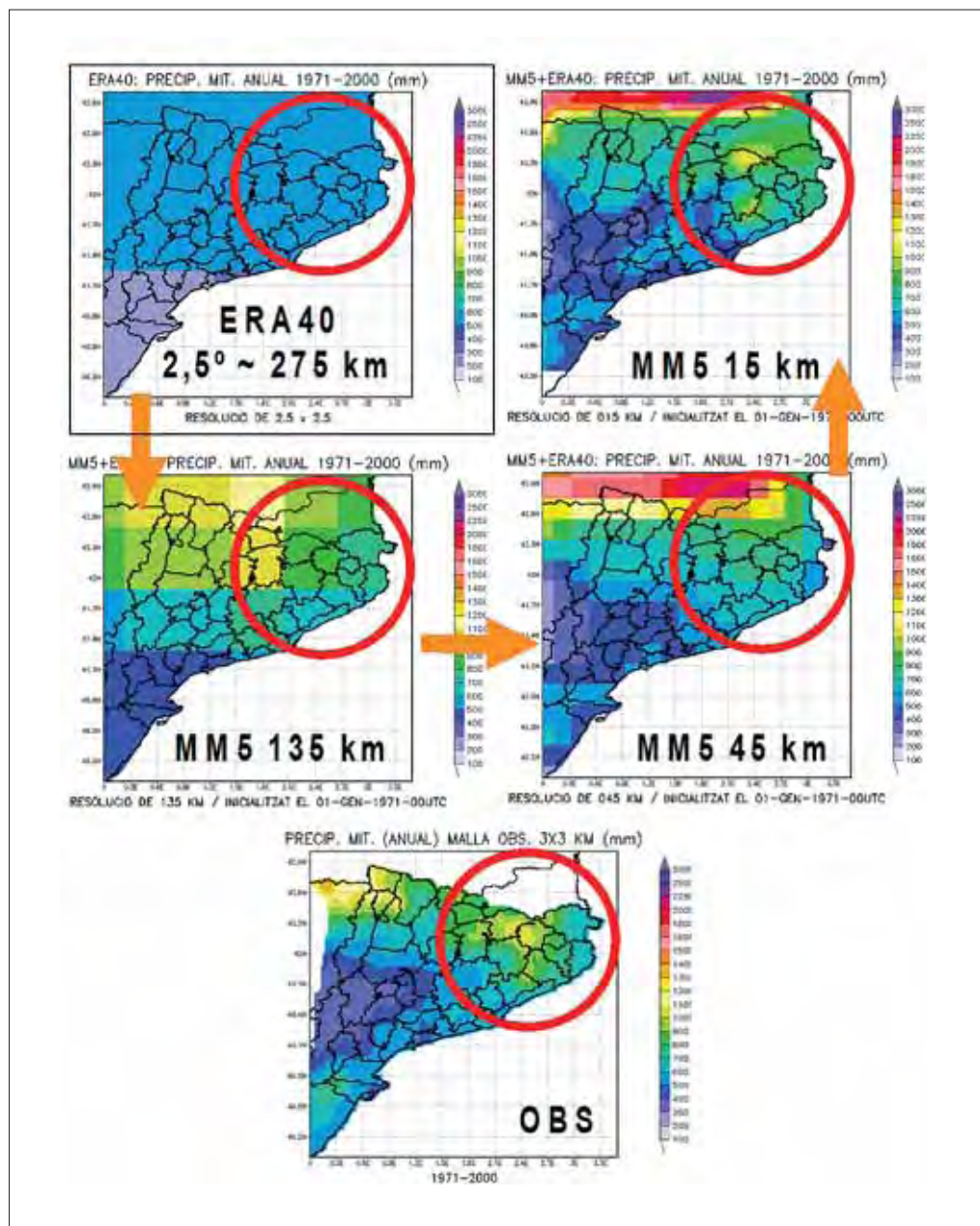


Figura 15. Camps de precipitació mitjana anual obtinguts directament de les reanàlisis de l'ERA-40 per a cadascun dels dominis d'integració de les simulacions regionalitzades (MM5+ERA40), i a partir d'una malla de 3 km x 3 km construïda sobre la base de les observacions de les estacions pluviomètriques de l'AEMET que cobreixen tot Catalunya, la Franja d'Aragó i el nord del País Valencià (Altava-Ortiz, en premsa) per al període 1971-2000.

observat. Comparant tots els camps, s'observa que la simulació de la precipitació realitzada mostra un patró espacial consistent amb l'obser-

vat: valors màxims cap al N i mínims a l'interior de la zona SW i W. Tot i així, només el domini d'integració d'alta resolució és capaç de repro-

duir el màxim pluviomètric del NE de Catalunya. La reproducció d'aquest màxim pluviomètric observat, a causa de la climatologia mesoescalar, és una bona prova dels avantatges del mètode de regionalització dinàmica emprat. Encara més, si es té en compte que és la zona on es troben les capçaleres dels rius que alimenten els recursos hídrics de l'àrea metropolitana de Barcelona. Cal esmentar, també, que hi ha una elevada coincidència entre els valors absoluts observats i simulats. S'aprecia, però, una lleugera sobreestimació en els valors simulats. Un comportament similar es dona per als camps estacionals (no mostrats), tot i que la concordança entre el model i les observacions és menys robusta a l'hivern i a la tardor. En general, es té una sobreestimació dels valors mitjans a la part freda de l'any i una subestimació a la part càlida. Aquests dos errors anualment es compensen donant un camp mitjà anual molt similar a l'observat, tal com es pot veure a la figura 15.

Pel que fa a la variabilitat temporal, a la figura 16 es presenten les evolucions de les anomalies de precipitació mitjana anual obtingudes per al domini d'integració d'alta resolució (15 km) amb l'MM5, juntament amb les que s'obtenen directament de l'ERA-40 i de les observacions. Cal destacar que el rang de variabilitat obtingut en la simulació és comparable al que és present en les observacions i, també, la coincidència d'un període humit a l'inici de la sèrie i un de sec al final entre els valors simulats i els observats. Cal esmentar, també, que mentre l'evolució de la precipitació en l'ERA-40 mostra una important i clara tendència a la disminució, la precipitació observada no mostra cap tendència estadísticament significativa, i l'obtinguda per l'MM5 només mostra una lleugera disminució durant el període 1971-2000. Aquest fet és una altra prova de la utilitat de la tècnica de regionalització dinàmica emprada.

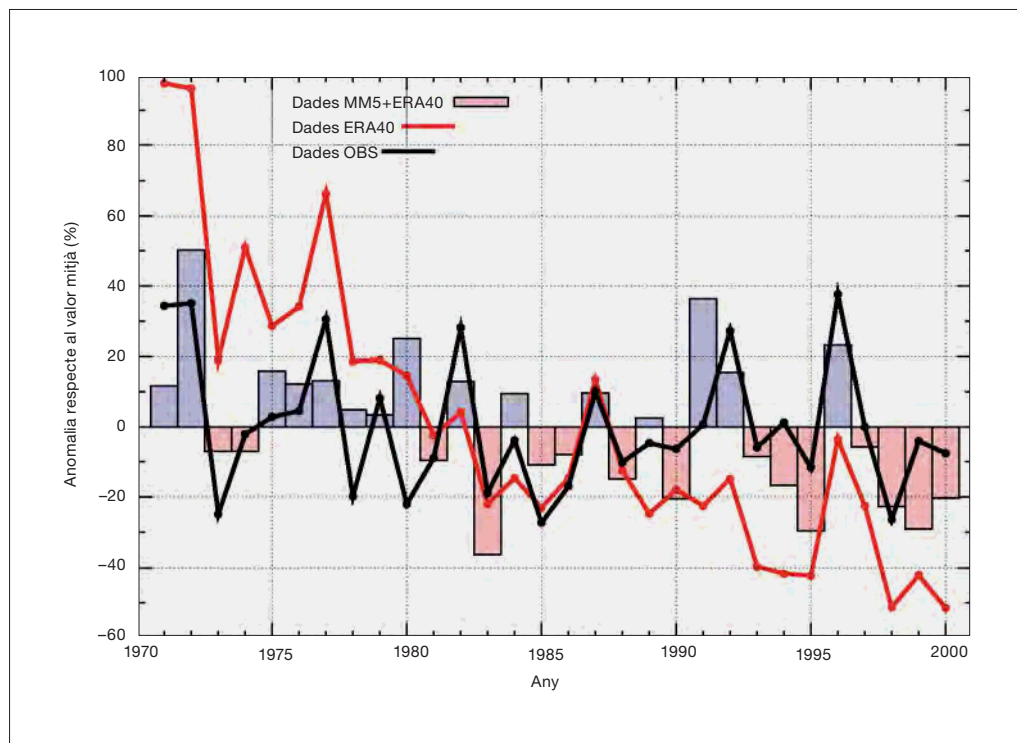


Figura 16. Evolució de les anomalies de precipitació mitjana anual obtingudes a partir de la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km (MM5+ERA-40, barres de colors), les reanàlisis de l'ERA-40 (línia vermella) i les observacions (OBS, línia negra) per al període 1971-2000 a tot el conjunt de Catalunya.

Finalment, a la figura 17 es presenta la funció de densitat de probabilitat (FDP) de la precipitació mensual mitjana obtinguda amb l'MM5 i les observacions. Es pot veure com ambdues distribucions són força coincidents i com la sobreestimació general que produeix la simulació en el camp de precipitació mitjana anual (figura 15) fa que la FDP simulada sigui lleugerament diferent a la FDP observada. Es produeix una transferència de probabilitat cap a les cues de la distribució, la qual implica un augment de la variabilitat. Aquest fet es nota en la forma de la FDP simulada amb un augment de la probabilitat per als valors elevats de precipitació (cua dreta de les FDP) i una disminució en la freqüència dels valors centrals de la FDP simulada (pic més baix) respecte a la FDP observada.

6.3.5.3. Resultats de les projeccions climàtiques regionalitzades

Per avaluar els canvis projectats en la precipitació i temperatura per als tres períodes d'anàlisi (2001-2020, 2041-2060 i 2081-2100) es procedeix de la manera següent: primer es calculen els valors mitjans de les variables en qüestió per a una simulació de referència del clima actual; en aquest cas, una simulació amb l'MM5 niat a les condicions de contorn de la simulació de l'IPCC-AR4 amb el model ECHAM5/MPI-OM (Roeckner, 2005) per al període 1971-2000. Posteriorment, es calculen els valors mitjans de les variables per a les simulacions de l'MM5 niat al mateix model per als tres períodes del segle XXI, però tenint en compte dos escenaris d'emissions diferents: A2 (Roeckner *et al.*, 2006a) i B1 (Roeckner *et al.*, 2006b). Finalment, es calculen

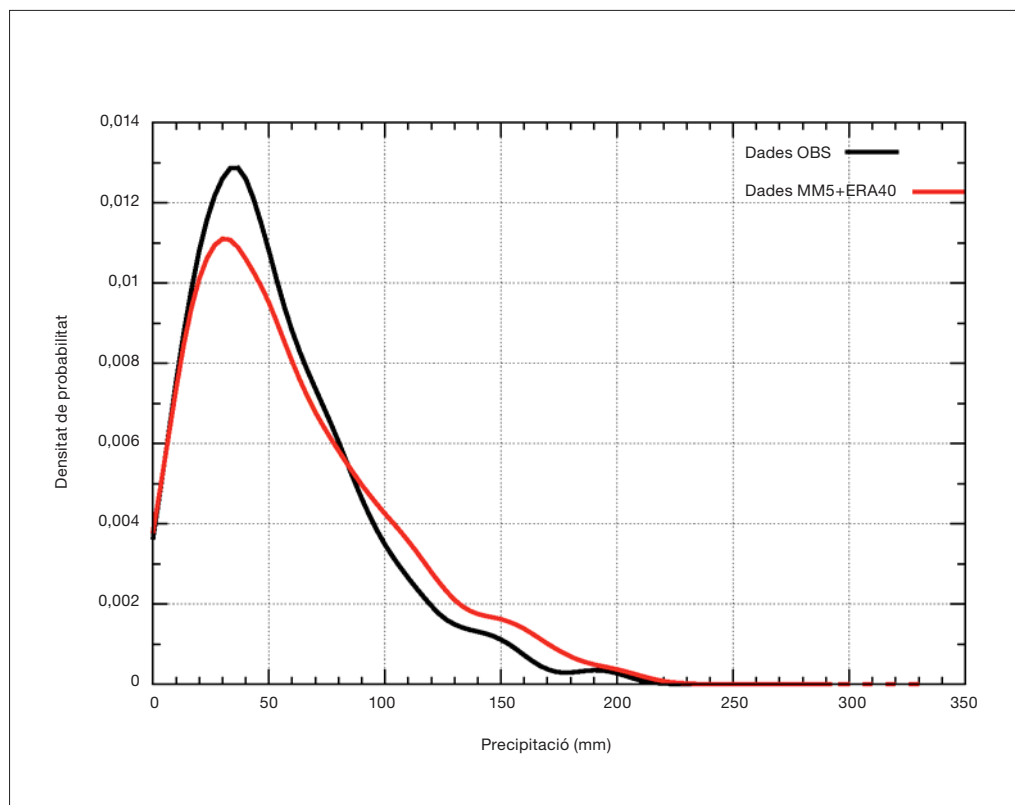


Figura 17. Funcions de densitat de probabilitat (FDP) de la precipitació mitjana mensual obtingudes amb la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km (MM5+ERA-40, línia vermella) i amb les observacions (OBS, línia negra) durant el període 1971-2000 per a tot el conjunt de Catalunya.

les variacions de les variables com la diferència entre els valors mitjans de les dues simulacions forçades amb les emissions corresponents i la simulació de referència.

A tall de resum, a la taula 12 es mostren els canvis projectats en la temperatura i la precipitació al conjunt de Catalunya (en una nova caixa definida per 0,15° -3,35° E i 40,5° -42,9° N). Així doncs, en aquesta taula es dona el valor mitjà,

màxim i mínim de les variacions projectades en aquestes dues variables per a cada període, escenari i estació de l'any. Aquests valors han estat calculats a partir de tots els punts de malla del domini d'alta resolució (15 km) que es troben en terra ferma i cauen dins de la caixa definida anteriorment. Tant a principis com a mitjans i finals d'aquest segle, es projecta un augment de la temperatura mitjana anual per als dos escenaris

Escenari	Període	Estació	Variació TMA (°C)			Variació PMA (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2001-20	Anual	+0,5	+0,6	+0,1	-7,6	+2,6	-13,7
		DGF	+0,4	+0,6	-0,0	+2,7	+13,8	-9,6
		MAM	+0,4	+0,5	+0,0	-15,2	-4,5	-28,7
		JJA	+0,6	+0,8	+0,3	+5,4	+29,7	-14,9
		SON	+0,6	+0,8	+0,1	-13,6	+6,0	-28,0
	2041-60	Anual	+1,8	+2,1	+1,4	-5,3	+17,4	-16,6
		DGF	+1,8	+2,1	+1,3	+4,6	+23,8	-18,2
		MAM	+1,6	+1,8	+1,2	-7,7	+19,0	-19,7
		JJA	+2,2	+2,4	+1,8	-28,5	-11,0	-53,7
		SON	+1,8	+2,0	+1,4	-5,8	+15,7	-17,2
	2081-00	Anual	+4,0	+4,4	+3,5	-17,0	+6,3	-30,9
		DGF	+3,5	+3,8	+3,2	+4,8	+43,3	-22,3
		MAM	+3,4	+3,7	+3,0	-19,3	+18,9	-37,0
		JJA	+4,7	+5,4	+3,9	-47,9	-10,1	-67,3
		SON	+4,2	+4,9	+3,7	-27,2	+2,1	-42,0
B1	2001-20	Anual	+0,7	+0,9	+0,5	-9,0	-0,6	-14,7
		DGF	+0,6	+0,7	+0,3	-6,7	+14,8	-17,3
		MAM	+0,9	+1,0	+0,5	-13,8	-1,2	-25,9
		JJA	+0,8	+0,9	+0,6	+12,7	+69,9	-13,1
		SON	+0,7	+0,8	+0,4	-11,0	-2,3	-23,1
	2041-60	Anual	+1,3	+1,4	+1,0	+0,3	+8,7	-9,5
		DGF	+1,2	+1,4	+1,0	-0,2	+14,1	-19,8
		MAM	+1,0	+1,2	+0,8	-8,8	+5,4	-18,8
		JJA	+1,4	+1,5	+1,2	+17,3	+47,8	-19,9
		SON	+1,4	+1,6	+1,1	+8,0	+29,2	-9,4
	2081-00	Anual	+2,6	+2,9	+2,3	-11,3	+17,2	-23,1
		DGF	+2,2	+2,4	+2,1	+7,5	+46,7	-17,8
		MAM	+2,3	+2,6	+2,1	-15,6	+22,1	-30,0
		JJA	+3,1	+3,6	+2,7	-24,2	+2,0	-48,8
		SON	+2,7	+3,0	+2,5	-22,8	-10,0	-40,6

Taula 12. Resum dels canvis projectats en la temperatura i la precipitació per al conjunt de Catalunya, segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica, obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. TMA, temperatura mitjana; PMA, precipitació mitjana; Mit., mitjana; Màx., valor màxim; i Mín., valor mínim. Aquests dos darrers valors indiquen la variació màxima i mínima detectada entre totes les cel·les que cobreixen Catalunya.

d'emissions. Aquest augment serà de l'ordre de 0,5 °C a principis de segle, al voltant d'1,5 °C a meitat de segle, i de l'ordre de 3 °C per a finals de segle. Tots aquests valors són respecte als valors mitjans del període de referència 1971-2000. També s'observa un augment de la temperatura en totes les estacions de l'any; aquest augment és més acusat a l'estiu i sobretot per a l'escenari A2. En precipitació, per a tots dos escenaris s'obté una disminució de la precipitació, d'entre el -5% i el -10% per a principis de segle, que no s'amplifica (sinó el contrari) a mitjans d'aquest segle (disminució d'entre 0 i -5%), per tornar a disminuir considerablement a finals de segle (entre un -10% i -20%). De nou, aquests valors són respecte als valors mitjans del període 1971-2000. Així, la disminució de la precipitació projectada no és un resultat tan robust com l'augment de temperatura projectat, ja que existeixen diferències notables entre períodes i escenaris (de fet, es dona una variació nul·la de la precipitació mitjana anual per a l'escenari B1 a meitat de segle). El comportament a escala estacional és menys regular i el rang de variació molt més ampli que en el cas de la temperatura. A més a més, existeixen notables diferències entre els resultats obtinguts per a cada escenari a escala estacional, sobretot a meitat de segle, tot i que cap a finals de segle ambdós escenaris tendeixen a convergir en el signe de la variació projectada tant anualment com estacionalment.

A la figura 18 es representen les variacions en els camps de temperatura i precipitació mitjanes anuals per als dos escenaris i per als tres períodes d'estudi. S'observa un augment de la temperatura i una disminució de la precipitació generals. L'augment de la temperatura projectat serà més acusat als Pirineus i Prepirineus que a la costa i el prelitoral, amb valors que arribarien a ser 2 °C superiors a mitjans d'aquest segle a tot Catalunya, i més de 3 °C superiors a finals del mateix segle, respecte als valors normals del període 1971-2000. La diferència d'augment entre els Pirineus i el litoral és de més d'1 °C. La zona interior del país es comporta com una zona de transició entre el litoral i la zona pirinenca, amb referència a les variacions projectades. En canvi, la disminució projectada en la precipitació no serà constant durant el segle XXI ni es produirà

amb la mateixa intensitat a tot Catalunya. De fet, cap a meitat de segle es projecta només una lleugera disminució per a gran part del país. En detall, si s'analitzen les zones del país que patiran una reducció més important de la precipitació, es preveu que per al principi del segle es produirà una disminució de manera més acusada a les Terres de Ponent i al nord-est. En la primera àrea, les disminucions podrien ser superiors al -10% per a l'escenari A2 durant els propers 50 anys respecte als valors normals del període 1971-2000. Tot i l'alentiment que sembla que es produirà en la disminució de la precipitació a meitat de segle (d'un 0% a un -5% de mitjana per a tot el territori), cap a finals del mateix segle la disminució serà més marcada i afectarà tot el país amb valors de precipitació d'entre -10% i -15% inferiors als actuals a gran part del territori. És important fer notar que, a finals de segle, les zones de màxima disminució de la precipitació passarien a ser les Terres de Ponent i, sobretot, els Pirineus (descensos de fins a un -30% per a l'escenari A2).

A la figura 19 es mostren les variacions en els camps de precipitació mitjana estacionals per als dos escenaris i per als tres períodes d'estudi respecte als valors mitjans del període 1971-2000. S'hi pot observar, primer de tot, que les diferències entre escenaris són notables, així com entre els tres períodes sota estudi. Per a algunes estacions de l'any, els resultats són pocs robustos sobre com serà l'evolució de la precipitació i com d'importants seran els canvis entre els tres períodes analitzats durant aquest segle. Per exemple, per a l'estiu i amb l'escenari A2, es projecta una disminució important de la precipitació per al començament i meitat de segle, mentre l'escenari B1 projecta tot el contrari. Només per a l'últim període d'estudi tots dos escenaris coincideixen en una disminució important a l'estiu. Un fet similar succeeix per a la tardor, tot i que els percentatges de variació no són tan grans. De totes maneres, com que a l'estiu les precipitacions són escasses, petits canvis en el valor total produeixen grans canvis en el percentatge de variació respecte als valors normals. D'altra banda, sembla clar que la precipitació a la primavera es veurà reduïda de forma general i amb percentatges importants,

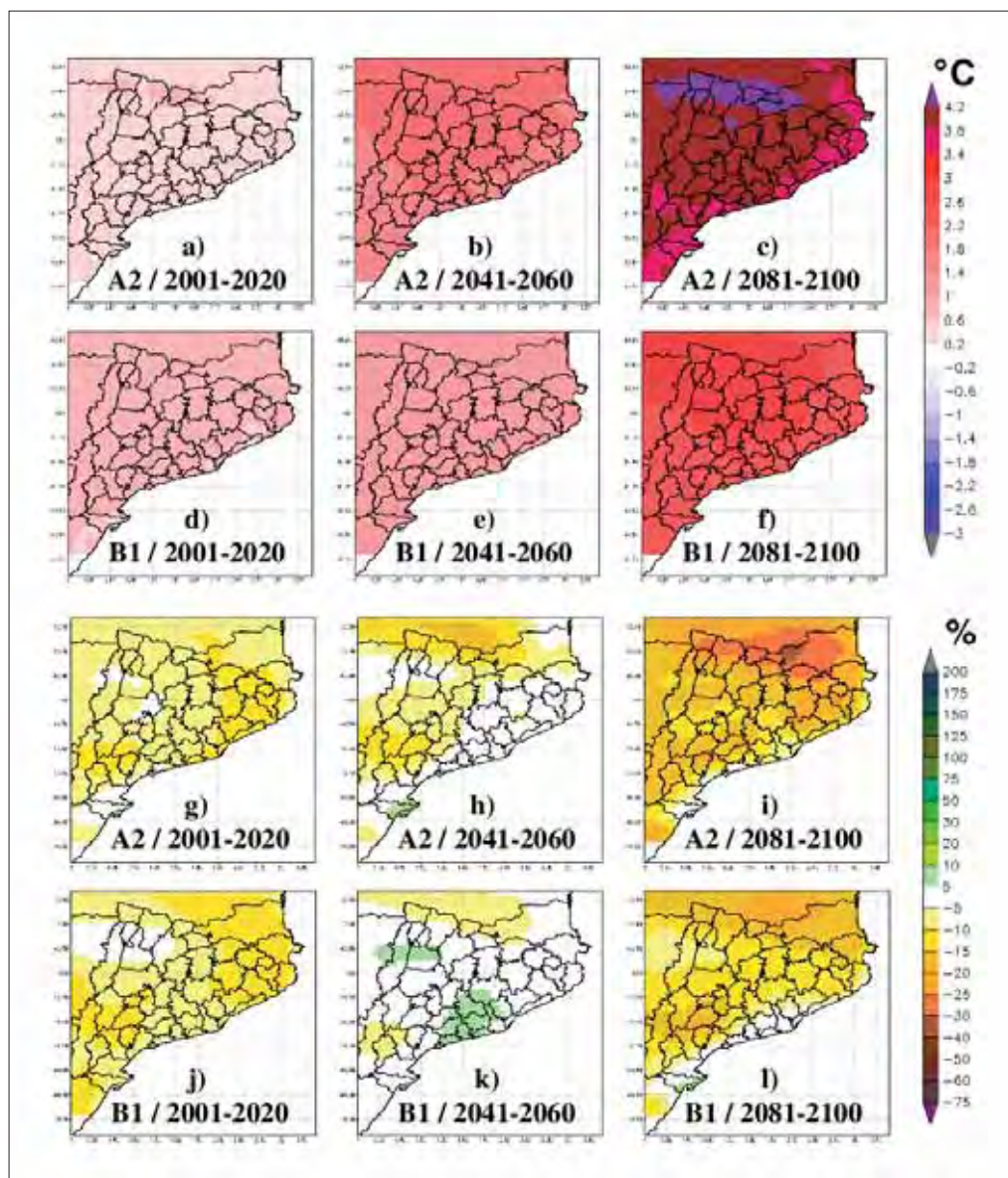


Figura 18. Mapes dels camps de variació de la temperatura (apartats a-f) i la precipitació (apartats g-l) mitjanes anuals, obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km (MM5+ERA-40) per als escenaris d'emissions A2 i B1 i per als períodes 2001-2020, 2041-2060 i 2081-2100. Període de referència, 1971-2000.

que podrien arribar a ser propers al -25%. També es projecta, d'una manera clara, un augment general, tot i que feble, de la precipitació a l'hivern, sobretot per a la meitat i finals del present segle. Per a la temperatura, en canvi, les projeccions obtingudes per a les diferents esta-

cions (no mostrades) són similars i amb valors semblants a les variacions anuals, tot i que les variacions majors es donen a l'estiu (arriben gairebé a +4 °C de mitjana per a finals de segle) i les menors a l'hivern (prop de +2,5 °C per al mateix període).

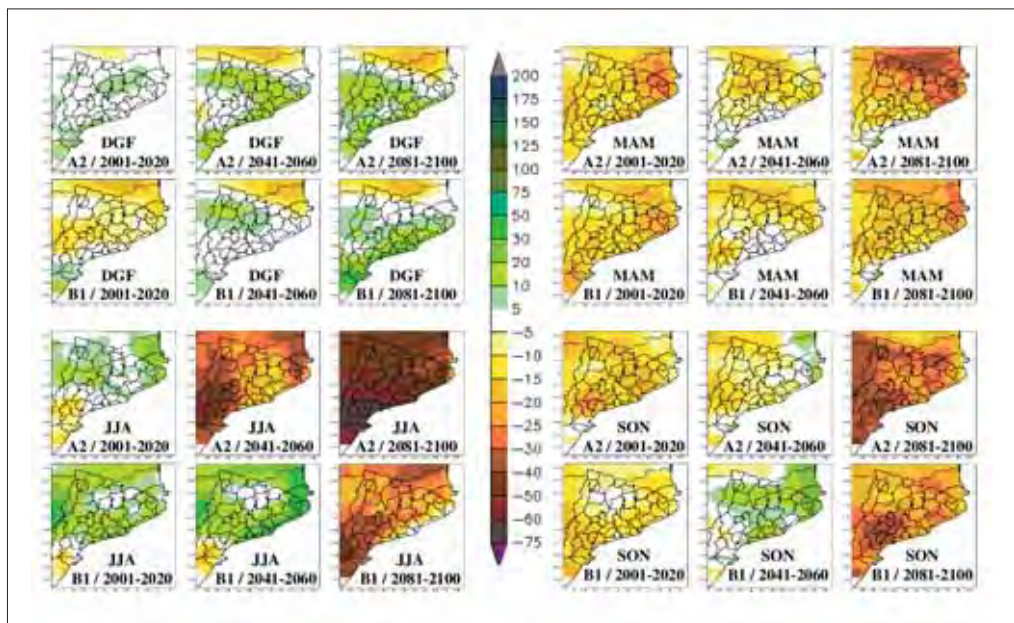


Figura 19. Mapes dels camps de variació de la precipitació mitjana estacional obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km amb els escenaris d'emissions A2 i B1 per als períodes 2001-2020, 2041-2060 i 2081-2100. Període de referència, 1971-2000.

Finalment, per a una visió general i completa dels canvis previstos en la temperatura i la precipitació a partir dels escenaris d'emissions considerats es presenta la figura 20. En aquesta figura es representen les FDP de la temperatura i la precipitació mitjanes mensuals obtingudes a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per al període 1971-2000 i per a les projeccions segons els escenaris A2 i B1 per als períodes 2001-2020, 2041-2060 i 2081-2100. En relació amb la distribució de la freqüència de la temperatura mitjana anual (figura 20a), el més important que cal destacar de les projeccions obtingudes és l'augment en la probabilitat d'ocurrència de mesos molt càlids, el qual és més important a mesura que avança el segle XXI, i aquest resultat és més marcat per a l'escenari A2 que no pas per al B1. D'altra banda, per als mesos de fred extrem també es projecten canvis en la seva freqüència, encara que són menys marcats que en el cas dels episodis de calor extrema. Els episodis de fred extrem tendiran a disminuir la seva probabilitat d'ocurrència a mesura que avanci el present segle i, especialment, per a finals del mateix segle.

Pel que fa a la distribució de freqüència de la precipitació mitjana mensual (figura 20b), es pot observar el desplaçament de les FDP projectades cap a valors més baixos de precipitació, i s'incrementa, doncs, la probabilitat de períodes secs en el futur, coincidint amb els resultats d'altres treballs a la mateixa zona (Altava-Ortiz, en premsa). Aquest augment en la probabilitat dels valors baixos de precipitació mensual serà més marcat a mesura que avanci aquest segle (menys important a principis de segle i molt marcat a finals de segle). L'augment és més marcat per a l'escenari A2 que no pas per al B1. D'altra banda, cal destacar la disminució projectada dels valors moderats de precipitació. Això succeeix en tots tres períodes i per a tots dos escenaris; tot i que aquesta disminució no és constant en el temps, és més marcada per a principis i finals de segle que no pas per a la meitat del mateix segle. Amb referència als valors extrems de precipitació (cues de la dreta a les FDP) es pot veure com per a aquests valors augmentarà la seva freqüència, sobretot cap a mitjà i finals de segle i per a l'escenari A2. Se'n pot deduir, doncs, un possible augment dels episodis de precipitació extrema-

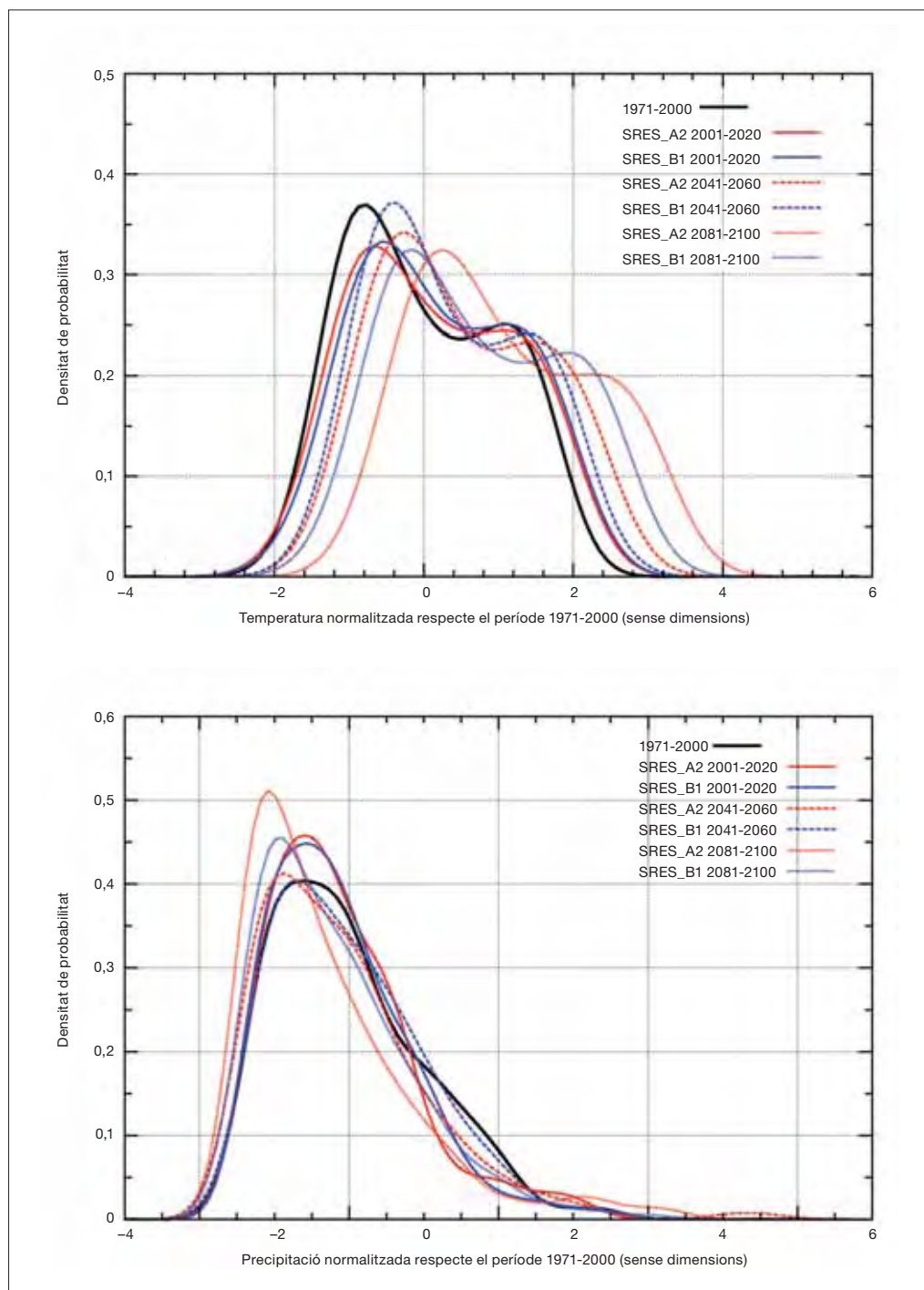


Figura 20. Funcions densitat de probabilitat (FDP) projectades de la temperatura (a) i la precipitació (b) mitjanes mensuals calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, 2001-2020, 2041-2060 i 2081-2100 i per als escenaris d'emissions A2 i B1. Període de referència 1971-2000.

dament abundant (més de 100 mm en 24 h), que podrien provocar inundacions importants, fet, però, que encara no es detecta en el present (Barrera-Escoda, 2008). Resumint, es projecta una transferència de probabilitat cap a les cues de la FDP de la precipitació mensual per als propers 100 anys, amb la qual cosa augmentarà la variabilitat de la precipitació mensual a Catalunya. Per tant, això fa pensar que la freqüència dels extrems hídrics (sequeres i inundacions) podria incrementar-se durant aquest segle.

6.4. Resum de les projeccions del clima futur per a Catalunya

En aquest apartat hem intentat resumir totes projeccions fins ara comentades en els apartats anteriors, per tal de donar, per a Catalunya i fins i tot amb una certa distinció entre àrees geogràfiques (costa, interior, Pirineus), uns rangs de variació de la temperatura i la precipitació que podem considerar probables sobre la base dels coneixements actuals, les tècniques de modelització i regionalització utilitzades pels investigadors, i els escenaris considerats.

Així, en la taula 13 hem inclòs el resum corresponent a les projeccions per a finals del segle XXI, que són les que disposen de més treballs originals publicats (en bona part, perquè va ser el període analitzat pel projecte Prudence). Cal tenir present que els valors de la taula són el resultat d'una síntesi efectuada sense una metodologia estadística o numèrica específica, sinó que surten d'una integració més aviat qualitativa de les diverses projeccions, obtingudes per diverses escales i amb diverses metodologies. Entre les dificultats trobades a l'hora de confeccionar aquesta taula (i les següents) hi ha el fet que els diversos resultats presentats anteriorment donen els canvis relatius a períodes lleugerament diferents (alguns prenen com a referència el període 1971-2000, altres el 1980-1999). Aquest fet cal tenir-lo present si es fa una comparació molt acurada entre metodologies diverses, o si es pretén integrar quantitativament diferents resultats.

Com es pot veure, es donen els rangs esperats d'augment de temperatura i de variació de la precipitació, corresponents a l'escenari A2. S'ha escollit aquest escenari perquè és un dels més pessimistes, és a dir, un dels que projecta unes

emissions de gasos amb efecte d'hivernacle més elevades (que, tot i així, sembla que es poden haver superat en anys recents). A més, per a aquest escenari, es troben moltes més projeccions (en particular, les que resulten del projecte PRUDENCE) que per a tots els altres. Per elaborar els valors de la taula 13 s'han tingut en compte també els resultats de les modelitzacions regionals que està duent a terme el Servei Meteorològic de Catalunya, corresponents al període de finals de segle i per a l'escenari A2. Pel que fa als resultats d'Ensembles (recordem, amb l'escenari A1B), les projeccions dels canvis de la precipitació són força semblants a les de la taula 13, és a dir, queden dins els rangs que es mostren o molt properes a ells; en canvi, els augments de temperatura que suggereixen els resultats d'aquest projecte són inferiors als de la taula 13, però mostren la mateixa diferenciació estacional.

En resum, observem que la temperatura mitjana a Catalunya podria pujar entre 4 i 5,5 °C a finals de segle, i aquest augment és molt més important a l'estiu als Pirineus i comarques interiors (fins a 7 °C), i més moderat a l'hivern per a zones costaneres (a l'entorn de 3 °C). Pel que fa a la precipitació, pel conjunt de Catalunya i en mitjana anual, podria disminuir entre un 5 i un 15%, i és l'estiu l'estació que patiria descensos més importants de precipitació (fins un 40% menys de precipitació a alguna àrea costanera). Afortunadament, a la zona dels Pirineus, i en estacions més plujoses (tardor) els descensos serien una mica més moderats, semblants als de la mitjana anual. En general, les diverses projeccions indiquen una possibilitat d'un lleuger augment de la precipitació durant l'hivern.

Es pot atorgar un grau de confiança als valors presentats a la taula 13, ja que provenen de moltes anàlisis diferents, efectuades per diferents autors. És cert, però, que la major part d'aquests treballs (però no tots) es basen en les simulacions del projecte Prudence, que malgrat utilitzar diversos models regionals, només els executa amb condicions de contorn donades per tan sols dos models globals. Ara bé, alguns altres treballs independents de Prudence (incloent-hi el resum per a la regió Mediterrània inclòs a l'AR4 de l'IPCC i les simulacions dutes a terme pel SMC) semblen avalar la validesa d'aquests valors.

	Escenari A2, període 2071-2100				
	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Any
Costa	2,5, 3,5 -10, 0	3,0, 4,0 -15, 0	5,0, 6,5 -40, -20	3,5, 5,0 -20, -5	3,5, 5,0 -20, -5
Interior	2,5, 4,0 +5, +10	3,5, 5,0 -15, -5	6,0, 7,0 -35, -15	4,5, 6,5 -20, -5	4,0, 5,5 -15, -5
Pirineus	2,5, 4,0 0, +15	3,0, 4,5 -5, 10	6,5, 7,5 -25, 0	5,0, 6,0 -15, 0	4,0, 5,5 -10, +5
Catalunya	2,5, 4,0 -5, +10	3,0, 4,5 -10, 0	5,5, 7,0 -30, -10	4,0, 5,5 -15, -5	4,0, 5,5 -15, -5

Taula 13. Augments de temperatura (línia superior de cada requadre, en °C) i canvis en la precipitació (línia inferior de cada requadre, en %), estimats a partir de diversos treballs i documents revisats. Canvis projectats (es donen rangs de valors) per a finals del segle XXI, respecte dels valors de finals del segle XX.

Per a altres escenaris i per a altres horitzons temporals, les projeccions es fan més difícils, ja que, com hem vist, existeixen menys treballs publicats que hi facin referència. Ara bé, també és cert que la major part d'escenaris comencen a distingir-se, pel que fa a les emissions, cap allà el 2030. Dit d'una altra manera, el canvi que es pot esperar per les properes dècades (posem des del present fins a meitat de segle) hauria de ser gairebé independent de les tendències que finalment prenguin les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Per això, encara que sigui sobre la base de menys treballs, alguns dels quals encara no s'han publicat, també proposem unes taules resum de les projeccions climàtiques en dos horitzons més propers, un que podríem anomenar immediat, i un en el mitjà termini.

Per a l'horitzó més immediat (2001-2020; vegeu la taula 14) està clar l'augment de temperatura, que probablement serà lleugerament superior a 0,5 °C. En canvi, la precipitació podria disminuir lleugerament (menys d'un 10%), i, contràriament al que passa per a l'horitzó temporal llunyà, podria augmentar a la part més càlida de l'any (estiu). De totes maneres, cal recordar que aquests resultats provenen d'un sol model regional aplicat amb unes úniques condicions de contorn, encara que, això sí, amb dos escenaris (A2 i B1). Com en el cas de finals de segle, la temperatura augmentaria més com més lluny de la costa. Pel que fa a les precipitacions, s'obté com a resultat més robust una disminució al llarg de tot el territori tant a la primavera com a la tardor.

	Principis de segle (2001-2020)				
	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Any
Costa	- -5, +5	- -25, -15	- -5, 30	- -20, -5	0,4, 0,6 -15, 0
Interior	- -10, +5	- -20, -10	- -5, +30	- -25, -5	0,4, 0,8 -15, 0
Pirineus	- -10, 0	- -25, -5	- 0, +20	- -20, 0	0,6, 1,0 -15, -5
Catalunya	0,4, 0,6 -10, +5	0,4, 0,9 -20, -10	0,6, 0,8 +5, +15	0,6, 0,7 -15, -10	0,4, 0,8 -10, -5

Taula 14. Augments de temperatura mitjana (línia superior de cada requadre, en °C) i canvis en la precipitació mitjana (línia inferior de cada requadre, en %), estimats a partir de les simulacions regionals dutes a terme pel Servei Meteorològic de Catalunya. Canvis projectats per a principis de segle XXI, amb els escenaris B1 i A2.

Pel que fa a l'horitzó temporal de meitat de segle, hem resumit els resultats de les simulacions analitzades del projecte Ensembles (recorrem, diversos models regionals, per a l'escenari A1B i per al període 2021-2050) amb els resultats obtinguts per l'SMC amb un model regional, dos escenaris (A2 i B1) i el període 2041-2060. Aquesta diversitat de models, escenaris i períodes, permeten pensar que el resum de la taula 15 conté força incertesa (per això alguns rangs són força grans) però, malgrat tot, indica els trets principals del canvi que podem esperar a meitat del present segle XXI. L'augment de temperatura podria ser al voltant d'1,5 °C, i com en els altres horitzons, més elevat a l'interior i Pirineus que no pas a la costa, i més alt a l'estiu que no pas a l'hivern i primavera. La precipitació mitjana anual a Catalunya podria variar molt poc respecte

	Diversos escenaris, meitat de segle				
	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Any
Costa	1,0, 1,6 -5, +15	- -10, +5	1,3, 1,9 -40, +30	- -5, +20	0,8, 1,6 -5, +10
Interior	1,0, 1,6 -5, +15	- -10, 0	1,6, 2,2 -50, +20	- -10, +20	1,4, 2,2 -15, +5
Pirineus	1,3, 1,9 -5, +5	- -20, -5	1,6, 2,2 -25, +20	- -10, +20	1,4, 2,2 -20, -5
Catalunya	1,1, 1,9 -5, +5	0,9, 1,7 -10, -5	1,3, 2,3 -30, +20	1,3, 1,9 -5, +10	1,2, 1,9 -5, 0

Taula 15. Augments de temperatura mitjana (línia superior de cada requadre, en °C) i canvis en la precipitació mitjana (línia inferior de cada requadre, en %), estimats a partir de diversos treballs i documents revisats. Canvis projectats per a mitjans de segle XXI.

a l'actual, com a resultat de possibles augments en algunes àrees (costa) i descensos en d'altres (Pirineus). Estacionalment, els resultats són poc significatius, en el sentit que les diverses metodologies i escenaris donen resultats fins i tot contradictoris. Així, a la tardor, i sobretot a l'estiu, l'escenari A2 dona descensos clars de la precipitació, mentre que el B1 indica ascensos de la precipitació. L'escenari A1B (resultats d'Ensembles) queda a mig camí, amb descensos moderats. A l'hivern, la major part de resultats indiquen canvis menors, mentre que la primavera és l'estació en què el descens de la precipitació es mostra de forma més consistent.

En els apartats anteriors s'ha comentat poc d'altres variables, però sí que s'ha dit alguna cosa del vent, de la nuvolositat i de la radiació solar. Pel que fa al vent, els canvis previstos són petits, en el rang de $\pm 5\%$, i, estacionalment, podria ser que tendís a augmentar, almenys en alguna part del territori, durant l'estiu, mentre que durant la tardor, i especialment al mes de novembre, és quan diversos resultats mostren disminucions del vent de forma més consistent. D'altra banda, els resultats que hem comentat sobre la nuvolositat i radiació solar també són coherents entre ells, i indiquen petites disminucions de la primera, que comporten augments de la segona, durant l'estiu, i la tendència contrària a l'hivern. Tots aquests resultats corresponen a les projeccions per a finals del segle XXI.

Finalment, encara que també se n'ha parlat poc en els apartats previs, és oportú afegir a aquest resum un comentari sobre els canvis en el nivell del mar. En l'apartat 6.2.2 s'ha comentat quin és l'augment del nivell del mar previst a escala global en funció dels diferents escenaris d'emissions. Per al mar Mediterrani en concret, i més especialment per al seu extrem occidental (és a dir, per a la costa catalana), les projeccions relatives a l'augment del nivell del mar són més aviat escasses. En realitat, fins i tot els estudis relatius al comportament del nivell del mar en els darrers decennis també són relativament limitats, i, en tot cas, mostren que les variacions de nivell han tingut comportament diferents en llocs relativament propers (com ara Mallorca, la Costa Brava i Màlaga). Sigui com sigui, un treball recent (Tsimplis *et al.*, 2008) indica que l'augment del nivell del mar que cal esperar a la

Mediterrània és relativament modest, atès que els dos components dels canvis estèrics (és a dir, de densitat), la temperatura i la salinitat, tendiran a compensar-se (no totalment) entre ells. Així, l'expansió conseqüència de l'augment de temperatura es veurà atenuada per l'augment de densitat d'una aigua més salina. Els altres factors que influeixen en el nivell del mar (principalment l'aportació d'aigua per la fosa de geleres i casquets de gel) contribuiran positivament al nivell del mar, que s'estima que pot pujar uns 30 cm a finals de segle, amb l'escenari A2. Aquest valor podria ser fins i tot inferior a les zones més properes a la costa, però està sotmès a una gran incertesa pel fet que s'ha obtingut amb un sol model, i perquè tampoc no considera (igual que no es fa en les estimacions globals) la possible aportació d'una fosa més ràpida del gel de Grenlàndia.

6.5. Conclusions

En aquest apartat es destaquen les principals conclusions que es poden extreure de tot el que més amunt s'ha presentat. Aquestes conclusions es presenten de forma sintètica i fan referència tant a les metodologies com, sobretot, als resultats de les projeccions.

1. La modelització climàtica d'abast global, mitjançant els AOGCM, segueix sent l'eina més utilitzada i fiable per fer projeccions del clima futur. Aquests models globals, que incorporen el coneixement científic actual del sistema climàtic, cada cop són més sofisticats (en el sentit que incorporen més elements i fenòmens) però se segueixen aplicant amb resolucions del tot insuficients si es desitja tenir detall regional o local dels canvis projectats.

2. Hi ha diverses metodologies per tal d'obtenir projeccions climàtiques amb un detall més proper al que necessiten els gestors que han de prendre decisions relatives a l'adaptació als possibles impactes del clima futur. Aquests mètodes de regionalització, però, siguin estadístics o dinàmics, parteixen sempre dels resultats de les simulacions globals.

3. Encara que alguns científics advoquen per generar nous escenaris d'emissions, en particular els que puguin resultar de l'aplicació de mesures de mitigació, totes les projeccions climàtiques encara s'efectuen actualment amb els escenaris

del SRES de l'any 2000; en particular, s'acostumen a utilitzar preferentment escenaris alts en emissions (com l'A2 o l'A1B) i algun de més baix en emissions (B1).

4. Malgrat que les incerteses de les projeccions climàtiques, relacionades tant amb el desconeixement de les emissions futures com amb les pròpies limitacions de les tècniques emprades, tendeixen a fer-se més grans com més lluny en el temps projectem el clima, moltes de les anàlisis publicades, tant a l'AR4 de l'IPCC com les que deriven del projecte Prudence, i altres treballs, se centren preferentment en el clima que podria haver-hi a finals del segle XXI. Això no obstant, es detecta una necessitat per descriure escenaris més propers en el temps, per als quals la incertesa associada és clarament menor.

5. Una altra font d'incertesa prové de la incapacitat de descriure, amb les tècniques actuals, els fenòmens atmosfèrics que es produeixen a petita escala i que poden tenir una gran influència en el clima sobre un territori orogràficament tan complex com és Catalunya (en particular, pel que fa a les precipitacions).

6. El reconeixement de la existència d'incerteses en les projeccions no ha de ser excusa per no reconèixer aquells trets climàtics que, si més no segons els coneixements científics actuals, han de caracteritzar el futur; per tant, cal utilitzar les millors projeccions disponibles en la planificació socioeconòmica en general, i, sobretot, en la implementació de mesures de mitigació.

7. A Catalunya, a finals del segle XXI, la temperatura podria ser fins uns 5 °C més alta que la de finals del segle passat, mentre que la precipitació mitjana anual podria disminuir un 10%. Els augments de temperatura serien més elevats a l'estiu i a les àrees més allunyades de la costa. Les precipitacions disminuirien especialment durant l'estiu, i podrien fins i tot augmentar a l'hivern en zones de muntanya com ara els Pirineus.

8. En els propers anys (fins el 2020), la temperatura tendirà a augmentar, com ja ho ha fet en els darrers anys, i podria ser 0,5 °C més alta que la mitjana de finals del segle XX. La precipitació ja començaria a disminuir (fins a un 10% en la mitjana anual), especialment a la primavera i la tardor, i de manera una mica més marcada a l'àrea dels Pirineus.

9. Per a la meitat del segle XXI, diversos treballs (especialment els del projecte Ensembles, els de l'AEMET i els de l'SMC) indiquen que la temperatura podria arribar a pujar fins gairebé 2 °C, respecte a la de finals del segle XX. Aquests augments serien, probablement, més alts a l'estiu que a l'hivern i una mica menors a la primavera; serien generals en tot el territori però menys acusats a les zones litorals. Les precipitacions, en canvi (i sorprenentment, vistos els resultats per a altres horitzons temporals), no haurien de canviar gaire (disminució d'un 5% en la mitjana anual, per al conjunt del territori català). La distribució estacional i territorial d'aquest descens és força incerta: diferents tècniques i escenaris donen resultats diferents.

10. En relació amb la variabilitat climàtica (temporal), diversos resultats semblen indicar un possible reforçament d'aquesta, tant pel que fa a les temperatures com a les precipitacions. Aquesta major variabilitat ja s'insinua en l'informe de l'IPCC, i es deriva també de diversos treballs desenvolupats sobre les modelitzacions del projecte Prudence. Les simulacions realitzades pel Servei Meteorològic de Catalunya també confirmen un possible augment de la variabilitat interanual.

11. Existeixen treballs dedicats als possibles canvis en els fenòmens extrems. Això no obstant, és difícil afirmar res en relació amb aquests fenòmens, atesa la incertesa existent que es reflecteix en resultats fins i tot contradictoris. Només l'increment de les onades de calor (freqüència i intensitat) sembla estar assegurat, així com els períodes de dies seguits sense precipitació, és a dir, les sequeres; les pluges més intenses no es descarten, però encara no hi ha una gran unanimitat sobre aquesta possibilitat.

Referències

- ALTAVA-ORTIZ, V. (en premsa). Caracterització i monitoratge de les sequeres a Catalunya i nord del País Valencià. Càlcul d'escenaris climàtics per al segle XXI. Barcelona: Universitat de Barcelona, Departament d'Astronomia i Meteorologia, Barcelona. (Tesi doctoral, publicació interna).
- ARRIBAS, A.; GALLARDO, C.; GAERTNER, M.A.; CASTRO, E. M. (2003). «Sensitivity of the Iberian Peninsula climate to a land degradation». *Climate Dynamics* 20: 477-489. DOI 10.1007/s00382-002-0285-1.

- BARRERA-ESCODA, A. (2008). *Evolución de los extremos hídricos en Catalunya en los últimos 500 años y su modelización regional*. Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona, Barcelona. (Tesi doctoral, publicació interna, 319 p. Disponible a: <http://www.zucaina.net/Publicaciones/Barrera-Escoda-TESIS-2008.pdf>).
- BENISTON, M.; STEPHENSON, DAVID B.; CHRISTENSEN OLE B. [et al.] (2007). «Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections». *Climatic Change* 81:71–95. DOI 10.1007/s10584-006-9226-z.
- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIÉ, V. [et al.] (2001). «The variation and trends of the surface air temperature in the Northeastern of Spain from middle nineteenth century onwards». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (eds.) *Detecting and modelling regional climate change and associated impacts*. Berlín-Heidelberg-New York: Springer, p. 81–93.
- BRUNET, M.; JONES, P.D.; SIGRÓ, J. [et al.] (2007). «Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850–2005». *Journal of Geophysical Research*, 112, D12117. DOI 10.1029/2006JD008249.
- BRUNET, M.; CASADO, M.J.; DE CASTRO, M. [et al.] (2009). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Madrid: Agencia estatal de meteorología.
- CALBÓ, J. (2005). «Projeccions futures del clima a Catalunya». A: LLEBOT, J.E. (ed.), *Informe del Canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor pel Desenvolupament Sostenible i Institut d'Esudis Catalans, p. 189–225.
- (2009a). «Projeccions globals; el 4t informe del GIECC». A: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua.
- (2009b). «Projeccions regionals; d'Europa a la península ibèrica». A: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua.
- (2009c). «Possible Climate Change Scenarios with Specific Reference to Mediterranean Regions». A: SABATER, S.; BARCELÓ, D. (eds.). *Water Scarcity in the Mediterranean: Perspectives Under Global Change, Handbook of Environmental Chemistry*. (2010) Springer-Verlag. DOI 10.1007/698_2009_28.
- CALBÓ, J.; CUNILLERA, J.; LLASAT, C. [et al.] (2009). «Projeccions climàtiques per a Catalunya». A: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua.
- CALBÓ, J.; REL, R. (2008). *Escenaris climàtics futurs a Catalunya. Estudi encarregat pel Grup d'Experts en Canvi Climàtic a Catalunya*.
- CHRISTENSEN, J.H. (coord.) (2005). Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects (PRUDENCE) Final Report. Disponible a <http://prudence.dmi.dk/>.
- CHRISTENSEN, O.B.; CHRISTENSEN, J.H. (2004). «Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate». *Global and Planetary Change* 44 (2004) p. 107–117.
- CHRISTENSEN, J.H.; HEWITSON, B.; BUSUIOC, A. [et al.] (2007). «Regional Climate Projections». A: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. et al. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- DE CASTRO, M.; MARTIN-VIDE, J.; SERGIO, A. (2005). «El clima de España: pasado, presente y escenarios para el siglo XXI». A: *Impactos del Cambio Climático en España*.
- DÉQUÉ, M.; JONES, R.G.; WILD, M. [et al.] (2005). «Global high resolution versus Limited Area Model climate change projections over Europe: quantifying confidence level from PRUDENCE results». *Climate Dynamics* 25, p. 653–670. DOI 10.1007/s00382-005-0052-1.
- DÉQUÉ, M.; ROWEL, D.P.; LÜTHI, D. [et al.] (2007). «An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections». *Climatic Change* 81, p. 53–70. DOI 10.1007/s10584-006-9228-x.
- DIFFENBAUGH, Noah S.; PAL, Jeremy S.; GIORGI, Filippo; GAO, Xuejie (2007). «Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot». *Geophysical Research Letters* 34, L11706. DOI 10.1029/2007GL030000.
- DOHERTY, S.J.; RASCH, P.J.; RAVISHANKARA, A.S. (2009). «Initiative to improve process representation in chemistry-climate models». *EOS, transactions AGU*, 90, p. 24.

- DUDHIA, J. (1989). «Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model». *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46, pp. 3077-3107.
- (1996). «A multi-layer soil temperature model for MM5». A: *Preprints of the Sixth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop* (Boulder, Colorado, EE.UU., 22-24 July 1996), pp. 49-50. Disponible a: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5v2/whatisnewinv2.html>.
- DUDHIA, J.; GILL, D.; MANNING, K. [et al.] (2004). *PSU/NCAR Mesoscale modeling system. Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3*. Disponible a: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/tutorial-v3-notes.html>.
- FERNÁNDEZ, J.; MONTÁVEZ, J.P.; SÁENZ, J. [et al.] (2007). «Sensitivity of MM5 mesoscale model to physical parameterizations for regional climate studies: Monthly seasonal cycle». *Journal of Geophysical Research*, 112, D04101. DOI 10.1029/2005JD006649.
- FERNÁNDEZ, J.; PRIMO, C.; COFIÑO, A.S. [et al.] (2008). «MVL spatiotemporal analysis for model inter-comparison in EPS: application to the DEMETER multi-model ensemble». *Climate Dynamics*. DOI 10.1007/s00382-008-0456-9.
- FREI, C.; SCHÖLL, R.; FUKUTOME, S. [et al.] (2006). «Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models». *Journal of Geophysical Research*, 111, D06105. DOI 10.1029/2005JD005965.
- GAO, Xuejie; S. PAL, Jeremy; FILIPPO, Giorgi. (2006). «Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation». *Geophysical Research Letters* 33, L03706. DOI 10.1029/2005GL024954.
- GAERTNER, M.A.; JACOB, D.; DOMÍNGUEZ, M. [et al.] (2007). Tropical cyclones over the Mediterranean Sea in climate change simulations. *Geophysical Research Letters* 34, L14711. DOI 10.1029/2007GL029977.
- GAERTNER RUIZ-VALDEPEÑAS, M.A. (2009). «Técnicas y aplicaciones de regionalización dinámica». A: BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E. (eds.) *Observed and modelled regional climate change*. Asociación Española de Climatología, p. 49-54.
- GIBELIN, A.L.; DÉQUÉ, E.M. (2003). «Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model». *Climate Dynamics* 20, p. 327-339. DOI 10.1007/s00382-002-0277-1.
- GIORGI, F.; LIONELLO, P. (2008). «Climate change projections for the Mediterranean region». *Global and Planetary Change*, 63, p. 90-104.
- GODDARD, L.; BAETHGEN, W. (2009). «The urgent need for improved climate models and predictions», *EOS, transactions AGU*, 90 (39).
- GRASSL, H. (2000). «Status and Improvements of Coupled General Circulation Models», *Science*, 288, p.1991-1997.
- GRELL, G.A. (1993). «Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations». *Monthly Weather Review*, 121, p. 764-787.
- GRELL, G.A.; J. DUDHIA; STAUFFER, D.R. (1994). «A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)». NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, EUA, 117 pp.
- HEWITT, C. (2005). «The ENSEMBLES Project - Providing ensemble-based predictions of climate changes and their impacts». *The EGGS, EGU newsletter*, 13, p. 22-25.
- HONG, S.Y.; PAN, H.L. (1996). «Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model». *Monthly Weather Review*, 124, p. 2322-2339.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007*, Synthesis Report.
- JIMÉNEZ-GUERRERO P. (2007). «Application of climate models within supercomputing frameworks». *Terraflap*, 94.
- KJELLSTRÖM Erik; BÄRRING, Lars; JACOB, Daniela [et al.] (2007). «Modelling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe». *Climatic Change* 81:249-265. DOI 10.1007/s10584-006-9220-5.
- LEHNER, Bernhard; DÖLL, Petra; ALCAMO, Joseph [et al.] (2006). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. *Climatic Change* 75: 273-299. DOI: 10.1007/s10584-006-6338-4.
- LOPEZ-BUSTINS, J.A.; MARTIN-VIDE, J.; SANCHEZ-LORENZO, A. (2008). «Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns». *Global and Planetary Change*. DOI 10.1016/j.gloplacha.2007.09.002.
- LÓPEZ-MORENO, J.I.; BENISTON, M.; GARCÍA-RUIZ, J.M. (2008). «Environmental change and water management in the Pyrenees: Facts and future perspectives for Mediterranean mountains». *Global and Planetary Change*, 61, p. 300-312.

- LOWE, J.A.; HEWITT, C.D.; VAN VUUREN, D.P. [et al.] (2009). «New Study For Climate Modeling, Analyses, and Scenarios». *EOS, transactions AGU*, 90 (21), p. 181–182.
- MCGUFFIE, K.; HENDERSON-SELLERS, A. (1990). *Introducción a los modelos climáticos*, Editoria Barcelona: Omega, 246 p.
- MEEHL, G.A.; STOCKER, T.F.; COLLINS, W.D. [et al.] (2007). «Global Climate Projections». A: SOLOMON, S.; QIN D.; MANNING, M. [et al.] (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- OHFUCHI, W.; SASAKI, H.; MASUMOTO, Y.; NAKAMURA, H. (2005). «Mesoscale Resolving Simulations of the Global Atmosphere and Ocean on the Earth Simulator». *EOS, transactions AGU*, 86 (5).
- PAL, S.J.; GIORGI F.; BI, X. (2004). «Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections». *Geophysical Research Letters* 31, L133202. DOI: 10.1029/2004GL019836.
- PETISCO, S.E.; MARTÍN, J.M.; ALONSO, J. (2006). Escenarios de temperatura y precipitación para la España Península y Baleares durante el período 2001-2100 basados en «Downscaling» estadístico mediante métodos de análogos. *Proceedings XXIX Jornadas Científicas de la AME (Pamplona)*.
- RANDALL, D.A.; WOOD, R.A.; BONY, S. [et al.], (2007). «Climate Models and Their Evaluation». A: SOLOMON, S.; QIN D.; MANNING, M. [et al.] (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- RIBALAYGUA BATALLA, J.; TORRES MICHELENA, L.; DEL CARRE DÍAZ, M. (2009). «El método de análogos en el downscaling estadístico». A: BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E. (eds.) *Observed and modelled regional climate change*. Asociación Española de Climatología, p. 41-48.
- ROCKEL, B.; WOTH, K. (2007). «Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations». *Climatic Change* 81: 267–280. DOI 10.1007/s10584-006-9227-y.
- RODRÍGUEZ CAMINO, E. (2009). «Enfoque de España para la generación de escenarios regionalizados de cambio climático». A: BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E. (eds.) *Observed and modelled regional climate change*. Asociación Española de Climatología, p. 19-28.
- ROECKNER, E. (2005). IPCC MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40_20C3M_all run no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaD Germany. World Data Center for Climate. CERA-DB «EH5-T63L31_OM_20C3M_1_6H». <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=EH5-T63L31_OM_20C3M_1_6H>
- ROECKNER, E.; BAÜML, G.; BONAVENTURA, L. [et al.] (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I. Max-Planck Institut für Meteorologie, Report No. 349, Hamburg, Alemania. <www.mpimet.mpg.de/fileadmin/publikationen/Reports/max_scirep_349.pdf>
- ROECKNER, E.; LAUTENSCHLAGER, M.; SCHNEIDER, H. (2006a): IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40_SRESA2 run no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaD Germany. World Data Center for Climate. DOI 10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-GR1.5L40_A2_1_6H].
- (2006b): IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40_SRESB1 run no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaD Germany. World Data Center for Climate. DOI 10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-GR1.5L40_B1_1_6H.
- ROWELL, D.P.; JONES, R.G. (2006). «Causes and uncertainty of future summer drying over Europe». *Climate Dynamics* 27: 281–299. DOI 10.1007/s00382-006-0125-9.
- SAIROUNI, A.; MORÉ, J.; TODA, J. [et al.] (2007): Verificació dels models de mesoescala operatius al Servei Meteorològic de Catalunya. Notes d'estudi del Servei Meteorològic de Catalunya, núm. 71, 78 p. <www.meteocat.com/mediamb_xemec/servmet/pagines/Publicacions/verificacio_models.pdf>
- SALATHÉ, E.P.; STEED, R.; MASS, C.F.; ZAHN, P.H. (2008): «A high-resolution climate model for the United States pacific northwest: Mesoscale feedbacks and local responses to climate change». *Journal of Climate*, 21, pp. 5708–5726.
- SÁNCHEZ, E.; GALLARDO, C.; GAERTNER, M.A. [et al.] (2004). «Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach». *Global and Planetary Change* 44, p. 163–180.

- SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. [et al.] (2007). «Technical Summary». A: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. et al. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- TAPIADOR, F.J.; SÁNCHEZ, E.; GAERTNER, M.A. (2007). «Regional changes in precipitation in Europe under an increased greenhouse emissions scenario». *Geophysical Research Letters* 34, L06701. DOI: 10.1029/2006GL029035.
- TEDESCO, M. (2007). «A New Record in 2007 for Melting in Greenland». *EOS, transactions AGU*, 88 (39).
- TSIMPLIS, M.N., MARCOS, M., SOMOTET, S. (2008). «21st century Mediterranean sea level rise: Steric and atmospheric pressure contributions from a regional model». *Global and Planetary Change*. DOI 10.1016/j.gloplacha.2007.09.006.
- UPPALA, S.M.; KÄLLBERG, P.W.; SIMMONS, A.J. [et al.] (2005): «The ERA-40 re-analysis». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131, p. 2961–3012.
- WIGLEY, T.M.L.; RAPER, S.C.B.; HULME, M.; SMITH, S. (2000). *The MAGICC/SCENGEN Climate Scenario Generator: Version 2.4, Technical Manual*, Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK, 48 p.

2a part
Impactes i vulnerabilitat
del medi biofísic

7. Riscos associats al clima

Maria del Carme Llasat i Jordi Corominas

Maria del Carme Llasat Botija és doctora en Ciències Físiques per la Universitat de Barcelona on actualment és professora titular del Departament d'Astronomia i Meteorologia. Les seves principals línies de recerca són els riscos hidrometeorològics, incloent-hi l'estudi de l'impacte social i la sensibilització, així com l'anàlisi de la variabilitat i el canvi climàtic a la Mediterrània. Va ser presidenta de la secció de *Natural Hazards* de la EGU, editora en cap de la revista *Natural Hazards and Earth System Sciences*, i coordinadora internacional del tema "Heavy Rains" del programa AMHY/FRIEND d'UNESCO. Coordina els Grups d'Anàlisi d'Impacte Social dels projectes internacionals MEDEX i HYMEX. Ha participat en una quarantena de projectes de I+D, i també ha participat com a revisora en els informes de l'IPCC de 2001 i 2007. És membre del GECCC i consellera del CADS de la Generalitat de Catalunya.

Jordi Corominas Doctor en Ciències Geològiques. Catedràtic d'Enginyeria del Terreny a l'ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (UPC). Especialitzat en enginyeria geològica i en l'anàlisi, previsió i mitigació de riscos naturals, en particular, els esllavissaments i les crescudes fluvials. Ha participat en més d'una quinzena de projectes de recerca competitius i ha escrit més de 120 contribucions en revistes, llibres i congressos de caire nacional i internacional. Conferenciant convidat en diversos congressos i cursos internacionals (França, Itàlia, Suïssa, Àustria, UK, Canadà, Colòmbia, Panamà, Xina). Ha intervingut en més de cent contractes de geologia aplicada, estudis geològics-geotècnics per a obres d'enginyeria civil, riscos naturals i d'impacte ambiental. És president de l'*European Center on Geomorphological Hazards* (Strasbourg, França); membre del *Joint Technical Committee-1 on Landslides*, de les societats internacionals de Mecànica de Sòls, Mecànica de Roques i Geologia Aplicada a l'Enginyeria; membre de l'Institut d'Estudis Catalans, del Patronat del Parc Nacional d'Aigües Tortes – Sant Maurici, i del Consell Assessor de Túnels i Obres Singulares de la Generalitat de Catalunya.

El nostre agraïment a Marco Turco, per la seva col·laboració en l'anàlisi de les tendències de precipitació i de temperatura extremes utilitzant les dades SPAIN02 i E-OBS, i al projecte ESTCENA, dins del qual s'ha fet aquest estudi de tendències a Catalunya. El nostre agraïment per l'accés a la base de dades de temperatura, E-OBS del projecte EU-FP6, ENSEMBLES (<<http://ensembles-eu.metoffice.com>>), així com als proveïdors de dades del projecte ECA&D project (<<http://eca.knmi.nl>>) i als projectes FLASH i SEVERUS en què s'han desenvolupat part dels estudis sobre inundacions i pedregades presentats aquí. Volem expressar també el nostre agraïment a Francesc Xavier Castro, del Servei de Prevenció d'Incendis Forestals, per la revisió i els comentaris sobre el capítol relatiu a aquests; a Glòria Furdada Bellavista del grup RISK NAT i a Carles Garcia Sellés i Glòria Martí, del Servei Geològic de Catalunya, per la seva col·laboració en la recopilació d'informació sobre allaus, així com a Joan Arús i Miquel Gayà, d'AEMET, per la informació sobre tornados que ens han fet arribar. El nostre agraïment a Jordi Cullera, del Servei Meteorològic de Catalunya, per la informació sobre l'evolució dels índexs d'extrems a Tortosa i a Barcelona.

Resum i paraules clau	249
Introducció	251
7.1. Riscos naturals i canvi climàtic	252
7.1.1. Definicions per a un millor diàleg sobre els riscos naturals i el canvi climàtic	252
7.1.2. Riscos naturals susceptibles de ser afectats pel canvi climàtic	253
7.1.3. Identificació dels riscos naturals més freqüents i/o de més impacte a Catalunya	254
7.2. Antecedents	256
7.2.1. Informes anteriors en l'estudi de l'impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals a Espanya	256
7.2.2. Conclusions extretes del primer <i>Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya</i>	257
7.2.3. L'informe <i>Aigua i canvi climàtic</i> . Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya	257
7.3. Estimació de l'impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals a Catalunya	258
7.3.1. Pluges fortes i inundacions	259
7.3.1.1. Zones de major afectació	259
7.3.1.2. Tendències observades a Catalunya	260
7.3.1.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	266
7.3.2. Sequera	268
7.3.2.1. Zones de major afectació	268
7.3.2.2. Tendències observades a Catalunya	268
7.3.2.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	272
7.3.3. Incendis forestals	273
7.3.3.1. Zones de major afectació	273
7.3.3.2. Tendències observades a Catalunya	273
7.3.3.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	273
7.3.4. Temporals de vent, temporals marítims, tornados i petits huracans mediterranis o <i>medicans</i>	275

7.3.4.1. Zones de major afectació	275
7.3.4.2. Tendències observades a Catalunya	276
7.3.4.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	277
7.3.5. Pedra, calamarsa i tempestes elèctriques	277
7.3.5.1. Zones de major afectació	277
7.3.5.2. Tendències observades a Catalunya	278
7.3.5.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	278
7.3.6. Onades de calor i altes temperatures	279
7.3.6.1. Zones de major afectació	280
7.3.6.2. Tendències observades a Catalunya	280
7.3.6.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	281
7.3.7. Onades de fred i gelades	282
7.3.7.1. Zones de major afectació	282
7.3.7.2. Tendències observades a Catalunya	282
7.3.7.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	283
7.3.8. Temporals de neu i allaus	284
7.3.8.1. Zones de major afectació	284
7.3.8.2. Tendències observades a Catalunya	285
7.3.8.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	286
7.3.9. Esllavissades, desprendiments i caigudes de pedres	287
7.3.9.1. Zones de major afectació	288
7.3.9.2. Tendències observades a Catalunya	290
7.3.9.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs	292
7.3.10. Conclusions	292
7.3.10.1. Precipitacions intenses i inundacions	292
7.3.10.2. Sequera	294
7.3.10.3. Incendis forestals	294
7.3.10.4. Tornados, <i>medicans</i> i temporals de vent	295
7.3.10.5. Pedregades i tempestes elèctriques	295
7.3.10.6. Temperatures altes i onades de calor	295
7.3.10.7. Onades de fred i gelades	296
7.3.10.8. Temporals de neu i allaus	296
7.3.10.9. Esllavissades, desprendiments i caigudes de roques	296

7.4. Identificació d'incerteses, punts febles i temes no explorats	296
7.4.1. De l'impacte global a l'impacte regional	296
7.4.2. Canvi climàtic i riscos naturals? O riscos naturals i canvi global?	297
7.5. Punts a millorar i propostes de millora	297
7.6. Conclusions i recomanacions finals	298
Acrònims	301
Referències	301

Resum

El canvi climàtic, forçat per l'actuació de l'home i sobretot per l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, és una realitat. Tanmateix, el paper que com a inductor pot jugar en un creixement potencial sobre els riscos naturals a Catalunya no és el mateix per a tots ells. Aquest capítol analitza tots els factors que poden estar implicats en aquesta relació, i el particular paper que tenen a Catalunya. Per a una millor comprensió i diàleg, s'introdueixen els conceptes i la terminologia associats als riscos naturals, a partir de la terminologia més recent proposada per l'Organització de les Nacions Unides. S'identifiquen els riscos naturals que poden ser afectats pels factors meteorològics, i, conseqüentment, pel canvi climàtic, que, si atenem al seu paper directe (riscos hidrometeorològics) i indirecte (gran part dels riscos geològics i biològics), resulten ser la majoria. S'analitza breument la seva distribució a Catalunya, per entrar a fons en cada un dels riscos, les tendències observades fins al moment i els possibles escenaris futurs. Es té present l'estat de l'art actual, que s'introdueix en diversos apartats, així com els altres capítols d'aquest mateix informe en els quals es consideren indirectament els extrems i els riscos naturals. Entre les tendències ja observades, cal destacar aquells riscos pels quals ja s'ha detectat un augment vinculat directament al canvi climàtic (*i.e.* onades de calor i altes temperatures), aquells pels quals l'augment està vinculat principalment a un aug-

ment de la vulnerabilitat (*i.e.* inundacions), els que tot i una millora de la resiliència no han augmentat com s'esperava (*i.e.* incendis forestals), i aquells en els quals els canvis en la percepció i l'observació han estat tan marcats que és difícil associar el seu augment al canvi climàtic (*i.e.* tornados). Atenent a tots els factors que poden afectar la freqüència, l'impacte i la capacitat d'afrontar un risc, s'analitzen les febleses existents en l'actualitat. En aquest sentit es tracten els problemes de l'escala dels models regionals, de la propagació d'incerteses en la pròpia estima de la perillositat futura; la complexitat de l'estima de l'evolució del risc quan es tenen en compte els possibles canvis en vulnerabilitat i exposició, incloent aquí els processos i mesures preventives, els canvis en l'adaptació i la resiliència, i els canvis en la percepció de la població i en el seu grau de tolerància enfront dels riscos. Es presenten propostes de futur i es conclou que quan parlem de riscos associats al clima s'ha d'anar més enllà i considerar no solament el canvi climàtic, sinó també el canvi global i el desenvolupament sostenible.

Paraules clau

Canvi climàtic, riscos naturals, riscos hidrometeorològics, riscos socionaturals, perillositat, vulnerabilitat, resiliència, adaptació, mitigació, inundacions, esllavissades, allaus, incendis forestals, Catalunya.

Introducció

En el darrer informe de l'IPCC (2007) s'inclouen algunes conclusions sobre tendències observades així com les conseqüències que els escenaris futurs poden tenir sobre els riscos naturals, i, en particular, sobre aquells vinculats amb la precipitació, la temperatura i el temps sever. En termes generals, les observacions apunten a un augment de les situacions extremes com sequeres, pluges fortes, onades de calor i ciclons tropicals, si bé aquestes observacions poden canviar molt d'una regió a l'altra. L'informe indica, de forma genèrica, que s'ha observat un augment en la intensitat i en la duració de les sequeres des de 1970, particularment en les zones tropicals i subtropicals. Aquest augment estaria vinculat amb l'augment de temperatures, la disminució de la precipitació, els canvis en la temperatura superficial del mar (SST), els vents i el decreixement del mantell nival. També conclou que la freqüència d'episodis de pluges fortes ha augmentat en algunes regions, en coherència amb l'escalfament i l'increment de vapor d'aigua a l'atmosfera. Respecte a les temperatures extremes, fa incidència en els canvis observats en els darrers 50 anys, amb una disminució de dies freds i gelades i un augment de la freqüència de dies i nits càlids així com d'ones de calor. En ambdós casos estariem parlant, segons l'IPCC, d'un canvi de l'ordre d'un 10%, tant en l'augment dels dies càlids com en la disminució dels freds. En el cas dels ciclons tropicals, si bé es parla d'un increment de la seva intensitat des de 1970, relacionat amb l'augment de la SST, no es pot concloure res sobre la seva freqüència. El mateix informe fa palès que no hi ha prou evidència que justifiqui canvis en els riscos de petita escala com poden ser els tornados, la pedra i calamarsa, els llamps i les tempestes de sorra. Si ens referim als escenaris futurs, l'informe indica que és molt probable que augmentin les onades de calor, els extrems càlids, els episodis de pluges fortes i la intensitat dels ciclons tropicals. L'informe de l'IPCC no fa cap comentari concloent sobre altres riscos que es podrien vincular amb les condicions meteorològiques o climàtiques, com és el cas de les esllavissades, els incendis

forestals, les inundacions, les allaus o els temporals de vent. Cal dir que l'elevació del nivell marí i l'augment de les temperatures mitjanes no seran tractats com a riscos en aquest capítol, atès el seu tractament *in extenso* en altres capítols d'aquest informe.

El Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient i la Secretaria sobre el Canvi Climàtic (UNFCCC) corrobora de manera genèrica les anteriors conclusions, tot indicant que es preveu un augment de la freqüència i la severitat de les onades de calor; major sequera estival i major nombre d'incendis forestals; augment de la irregularitat del cicle hidrològic i del percentatge de pluges fortes, cosa que podria causar més esllavissades de terres i més erosió del sòl.

Si bé és cert que la major pèrdua de vides humanes a conseqüència dels riscos naturals es produeix al tercer món, el Mediterrani és una regió caracteritzada per una freqüència elevada de riscos naturals, i, especialment, d'aquells d'origen hidrometeorològic que poden ser afectats pel canvi climàtic. Per exemple, a Espanya les inundacions han produït històricament forts impactes socioeconòmics, amb més de 1.525 víctimes en les últimes cinc dècades (Benito *et al.*, 2003). L'*Informe Executiu sobre els Riscos Naturals a Catalunya* publicat pel CADS (Vilaplana i Payàs, 2008) indica que la mitjana anual pagada pel Consorci de Compensació d'Assegurances és de 89.000.000 €, tractant-se essencialment de danys per d'inundacions. En el mateix informe es valora que entre el 1982 i el 2002 es van produir pèrdues per terratrèmols i inundacions a Catalunya valorades en 1.334.780.279 €.

El present capítol aborda l'impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals amb una primera introducció dels termes i els conceptes vinculats amb els riscos naturals, a fi de poder utilitzar un llenguatge comú. Prossegueix amb la presentació dels antecedents sobre aquesta temàtica que es poden trobar en els principals informes nacionals, ja que el darrer IPCC (2007) s'ha abordat a la introducció i la bibliografia específica es tractarà quan es parli de cada risc. El capítol central tracta individualment cadascun, la seva evolució temporal i les perspectives futu-

res. A partir de les conclusions d'aquest capítol s'identifiquen les principals incerteses, els punts febles i els temes no explorats, per passar després als punts a millorar i a les propostes. El capítol es tanca amb les conclusions.

7.1. Riscos naturals i canvi climàtic

7.1.1. Definicions per a un millor diàleg sobre els riscos naturals i el canvi climàtic

Un dels principals problemes amb què es troben els estudis interdisciplinaris i multidisciplinaris rau en la utilització d'un llenguatge comú, o, si més no, en la comprensió comuna de llenguatges diferents però que expressen el mateix. Aquesta problemàtica és particularment incisiva en el camp de l'estudi dels riscos, i és per això que abans d'entrar en l'anàlisi de l'estat actual sobre l'impacte del canvi climàtic en els riscos naturals, és oportú aclarir el significat d'uns quants conceptes que aniran apareixent al llarg d'aquest capítol. Per unificació de criteris ens referirem, sempre que no es digui el contrari, a les definicions proposades per l'Estratègia Internacional per a la Reducció dels Desastres de Nacions Unides (UNISDR).

Segons la UNISDR (2009) es defineix el **risc** com la combinació de la probabilitat que es produeixi un episodi potencialment danyós i les seves conseqüències negatives. A partir d'aquesta definició és usual considerar el risc com el producte de la perillositat per les conseqüències negatives. La **perillositat** o **amença**, coneguda en anglès com a «hazard» i en francès com a «aléa» (actualment la UNISDR proposa utilitzar la paraula *amença* com a traducció de «hazard»), fa referència a la probabilitat que un determinat fenomen natural, d'una certa extensió, intensitat i durada, amb conseqüències negatives, es produeixi. La **vulnerabilitat** estaria constituïda per les característiques i circumstàncies d'una comunitat, un sistema o uns béns, que els fan susceptibles als efectes perjudicials d'una amenaça. El **grau d'exposició** s'estima a partir de la població, les propietats, els sistemes i altres elements presents en les zones on existeixen amenaces i que conseqüentment estan exposats a pèrdues potencials. Segons els autors i les disciplines, l'exposició es pot incloure dins de la vulnerabi-

litat o com un factor a part. En funció dels factors físics, socials, econòmics i ambientals existeixen diferents tipus de vulnerabilitat, que, a més, poden canviar amb el temps. La vulnerabilitat augmentaria, per exemple, amb una protecció inadequada dels béns, construccions inadequades, la manca de sensibilització i de coneixement dels riscos per part dels ciutadans o l'existència d'una cadena d'avís defectuosa. L'existència de construccions en zones amenaçades augmentaria l'exposició.

En català és usual identificar l'expressió «riscos naturals» amb l'expressió anglesa «natural hazards», tot i que no seria estrictament el mateix, ja que aquesta darrera es refereix al procés o fenomen natural (és a dir, l'amença) que pot produir pèrdues humanes, econòmiques o ambientals, així com afectar negativament la salut, la societat, etc. Usualment els estudis sobre «natural hazards» es referirien a la perillositat, i l'anàlisi global del risc es trobaria dins de la política de **l'avaluació del risc** o «risk assessment». Aquesta avaluació es faria a partir de l'anàlisi del risc, que consistiria en la metodologia per determinar la natura i l'extensió d'un risc tot analitzant els possibles perills («hazards») existents a la zona exposada i avaluant les condicions de vulnerabilitat dels elements amenaçats. Els mapes de risc s'elaborarien establint uns criteris numèrics per estimar objectivament la perillositat i les conseqüències negatives per a diferents escenaris. L'avaluació del risc inclouria el coneixement de la ubicació, la intensitat i la freqüència de les amenaces o perills potencials; l'anàlisi del grau d'exposició i de vulnerabilitat, incloses les dimensions físiques, socials, de salut, econòmiques i ambientals; i l'avaluació de l'eficàcia de les capacitats d'afrontament respecte als possibles escenaris de risc.

La **mitigació** comprendria les mesures per a la disminució o limitació dels impactes adversos i els desastres associats. Les mesures de mitigació comprenen tècniques d'enginyeria i de construcció, una millora de les polítiques ambientals i una sensibilització pública més alta. La **resiliència** o «resilience» es refereix a la capacitat d'un sistema, una comunitat o una societat per resistir, adaptar-se, absorbir i recuperar-se dels efectes del desastre, d'una forma oportuna i efi-

caç. Finalment, per la conscienciació o **sensibilització pública**, o «public awareness», s'entén el coneixement comú de la societat sobre els riscos i sobre les mesures que es poden prendre per disminuir la seva exposició i vulnerabilitat.

Les mesures de prevenció i els sistemes de predicció i avís es podrien considerar inclosos dins de les mesures de mitigació. La **prevenció** comprèn les actuacions realitzades amb anticipació a fi de pal·liar, disminuir o evitar els danys produïts com a conseqüència del desencadenament del fenomen perillós en qüestió. Es tracta, doncs, de mesures realitzades a llarg termini en funció dels perills dominants i que, en general, impliquen una gestió adequada del territori en funció del mapa de risc així com actuacions de caràcter estructural (obres d'enginyeria, millores arquitectòniques, etc.) o no estructural (legislació i normatives sobre els usos del sòl en zones de risc, plans d'emergència, etc.). La **predicció** es refereix a l'anticipació del fenomen amb més o menys antelació, cosa que dependrà del tipus de fenomen, tot i que a alguns casos només es pot establir amb poques hores d'antelació i difícilment es pot precisar la zona concreta on tindrà lloc (en el cas d'una tempesta i la conseqüent riuada sobtada, per exemple). Hi ha fenòmens per als quals ni tan sols és possible realitzar una predicció. En altres casos, l'única cosa que es pot anticipar és si les condicions ambientals seran favorables per al seu potencial desencadenament a aquells llocs en què existeixi un cert risc (i.e., allaus).

Dins d'una visió global dels riscos naturals com els que acabem de comentar és, per tant, necessari, tenir presents tots els factors que poden influir en la seva previsió, actuació i mitigació, així com els canvis que poden alterar, ja sigui la part més «natural» i vinculada amb la perillositat (i.e. impermeabilització del territori, cosa que podria augmentar les rierades), ja siguin els impactes potencials, essencialment vinculats amb la vulnerabilitat i l'exposició (i.e. la construcció d'habitatges al costat de les rieres). Conseqüentment, s'haurà de traspassar la frontera de la pròpia definició de canvi climàtic proposada per l'IPCC (2007), com a «canvi en l'estat del clima que es pot identificar a partir d'un canvi en el valor mitjà o en la variabilitat de les seves pro-

pietats i que persisteix durant un període perllongat, usualment d'alguns decennis o més, i que pot ser degut a factors de forçament intern, extern o d'origen antropogènic», per referir-se a canvi global i introduir el desenvolupament sostenible, entès com a «aquell desenvolupament que satisfà les necessitats presents sense comprometre la capacitat de les generacions futures de satisfer les seves pròpies necessitats», tal com ja es va enunciar a l'Informe Brundtland (UN, 1987). Així doncs, riscos naturals, canvi climàtic i desenvolupament sostenible es troben íntimament lligats.

7.1.2. Riscos naturals susceptibles de ser afectats pel canvi climàtic

No existeix una classificació única dels riscos naturals. De fet, atenent la disciplina des de la qual es faci la proposta, la classificació pot canviar considerablement. És per això que aquí tindrem present la classificació proposada per la UNISDR (2009), segons la qual podríem distingir entre:

- **Riscos hidrometeorològics.** Actualment s'inclouen aquí els riscos desenvolupats per processos d'origen atmosfèric, hidrològic o oceano-gràfic. Entre ells es troben els ciclons tropicals, les tempestes, les pedregades, els tornados, les tempestes de neu, les nevades fortes, les allaus, les marejades, les inundacions, la sequera i les onades de calor i de fred. Les condicions hidrometeorològiques també poden ser un factor important en altres riscos, com esllavissades, incendis forestals, plagues, epidèmies, i el transport i la dispersió de substàncies tòxiques i d'altres materials volcànics.
- **Riscos geològics.** Aquests inclouen els riscos que són conseqüència de processos interns de la Terra, com terratrèmols, activitat volcànica i emissions, així com processos geofísics tals com esllavissades, caigudes de roques, col·lapses superficials i colades de fang o terra. Els factors hidrometeorològics contribueixen considerablement a la major part d'aquests darrers processos i, conseqüentment, seran susceptibles de ser afectats pel canvi climàtic. Els tsunamis són difícils de classificar ja que malgrat ser desencadenats per terratrèmols i altres processos geològics, són essencialment

processos oceànics manifestats com a riscos relacionats amb les aigües costaneres.

- **Riscos biològics.** Es consideren els riscos desenvolupats per aquells processos o fenòmens d'origen orgànic o que es transporten mitjançant vectors biològics. S'inclou l'exposició a microorganismes patògens, toxines o substàncies bioactives que poden causar la mort, malalties o altres impactes a la salut, així com danys a la propietat, pèrdua de mitjans de sosteniment i serveis, trastorns socials i econòmics o danys ambientals. La seva relació amb el canvi climàtic se centra en aquells factors meteorològics i climàtics que poden facilitar el seu inici, extensió o propagació.

Darrerament s'ha introduït el terme «**socio-natural hazard**», que es traduiria per “amença socionatural”, tot fent referència a aquells riscos hidrometeorològics i geofísics, com esllavissades, inundacions, subsidència i sequera, que estan augmentant a conseqüència de la interacció entre els riscos naturals amb les terres degradades i/o sobreexplotades, els recursos ambientals i la gestió inadequada del territori.

7.1.3. Identificació dels riscos naturals més freqüents i/o de més impacte a Catalunya

No existeix una única resposta a la pregunta «quin és el risc natural més important a Catalunya?», ja que no existeix unanimitat sobre el sentit del terme *important*. Si s'aplica una aproximació inspirada en el nombre de víctimes mortals i els danys materials, resulta que a Catalunya, el primer risc natural serien les inundacions, tal com ja demostra l'informe executiu de RISKCAT (Vilaplana i Payàs, 2008). En aquest informe s'indica que les pèrdues a Catalunya per inundacions entre el 1982 i el 2002, van ser de 1.334.780.279 €.

Si la perspectiva aplicada pretén tenir en compte la percepció social, és possible utilitzar com a indicador, entre d'altres, el tractament que sobre els riscos naturals i el canvi climàtic fa la premsa (Allan *et al.*, 2006; Delitala, 2005; Fischer, 1998; Lacey i Longman, 1997). Els mitjans de comunicació («media») constitueixen una de les fonts més importants d'informació sobre els desastres naturals i tenen una influència decisiva sobre la visió i la resposta no sols de

la població sinó, fins i tot, del govern. De fet, el tractament del canvi climàtic per part de la premsa a Catalunya ja va ser abordat per Tàbara en el seu capítol «Percepció i comunicació sobre el canvi climàtic» publicat en el PICCC (2005), i posteriorment en la monografia publicada pel CADS sobre la percepció del canvi climàtic (Tàbara, 2008). Ambdós treballs mostren la bona correlació entre la presència del canvi climàtic a la premsa i la percepció que en té el públic així com el paper de la premsa en l'amplificació o la reducció de l'atenció pública sobre el canvi climàtic. En el darrer treball, el capítol sobre inundacions i canvi climàtic (Llasat i Llasat-Botija, 2008) deixa palès un augment de les notícies vinculades amb aquest i amb els riscos naturals, i, conseqüentment, un augment del grau de percepció, fet que també es confirma pel cas de les sequeres (Llasat *et al.*, 2009a). Un recent estudi intensiu de les notícies publicades durant el període 1982-2007 relatives a riscos naturals i canvi climàtic (Llasat *et al.*, 2009b), mostra que els incendis forestals, la sequera i les onades de calor ocupen el major nombre de titulars, amb un nombre total de 2.323 titulars referits a episodis produïts a Catalunya, cosa que equivaldria de mitjana a uns 4 titulars per a cada episodi esmentat a la premsa (figura 1). En segon lloc es troben les notícies referides a pluges fortes, inundacions i esllavissades, amb 1.501 titulars, que correspondria a uns 5 o 6 titulars per episodi. En tercer lloc apareixerien la neu i onades de fred i, posteriorment, els temporals de vent. El fet que la premsa dediqui un major nombre de titulars als incendis forestals i a la sequera que a les inundacions està en part vinculat amb l'època de l'any en què es produeixen els incendis, fora del període de major activitat política, motiu pel qual els petits incendis també queden reflectits a la premsa, i en part vinculat amb el fort paper que va jugar en la campanya electoral la darrera sequera. La figura 2 mostra una marcada tendència positiva en el nombre de notícies sobre incendis forestals i sequera, que es pot demostrar que es deu a una major cobertura periodística; en el cas de les inundacions la tendència, també positiva, queda lleugerament amagada pel fort impacte mediàtic que van tenir els episodis d'inundacions de febrer, octubre i novembre de 1982.

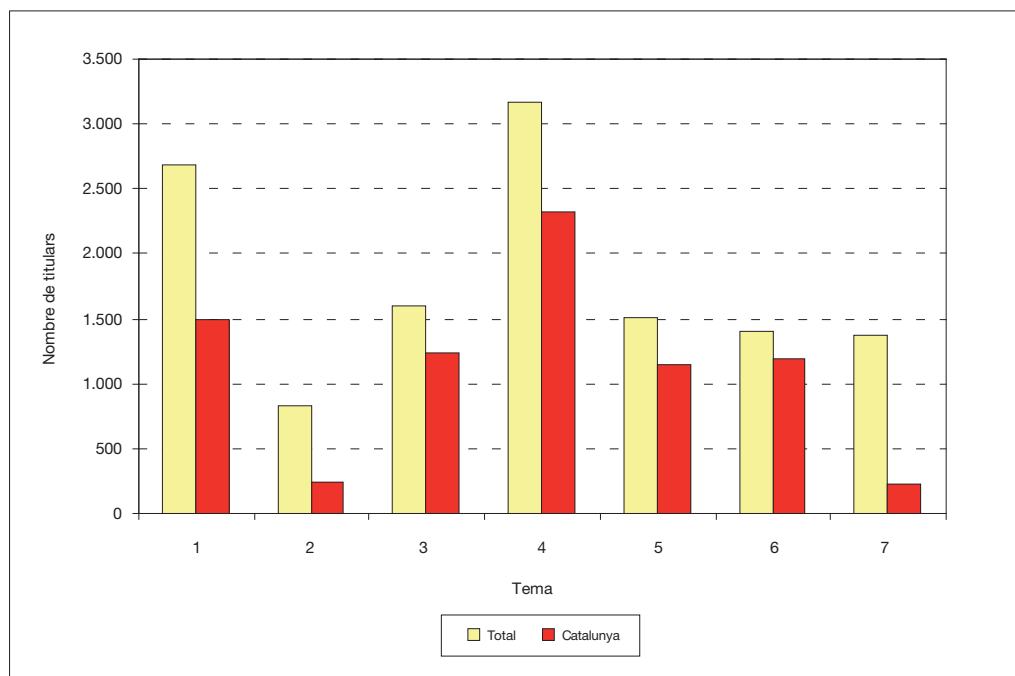


Figura 1. Nombre de titulars publicats a La Vanguardia entre 1982 i 2007, en total i referits exclusivament a Catalunya, pels següents temes: 1=riscos associats a pluja, 2=riscos associats a vent, 3=riscos associats a neu i onades de fred, 4=incendis forestals, sequera i gelades, 5=canvi climàtic, 6=sistemes d'avís, prevenció i gestió d'emergències per riscos naturals, 7=altres riscos naturals.

Font: Llasat et al., 2009.

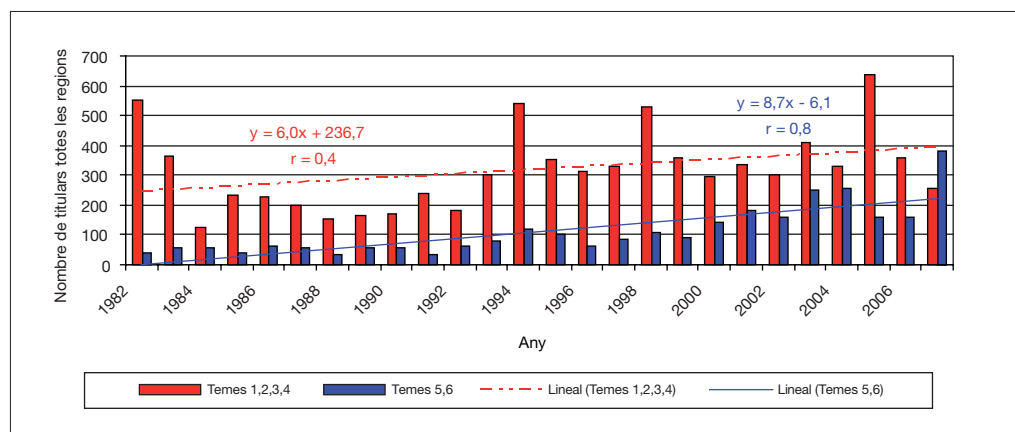


Figura 2. Evolució del nombre de titulars a La Vanguardia, pels diferents riscos naturals i canvi climàtic, des de 1982 fins a 2007. La classificació fa referència a la figura 1.

Font: Llasat et al., 2009b.

Finalment, cal dir que dins del projecte Interreg IIIB: RINAMED («Elaboration et mise en place d'une stratégie commune entre acteurs lo-

caux des régions de l'arc Méditerranéen occidental en matière d'information et de sensibilisation des populations face aux risques natu-

rels»), liderat per la Generalitat de Catalunya, es va establir el rànquing següent:

1. Inundacions
2. Incendis forestals
3. Moviments de vessants
4. Tempestes i temporals de vent
5. Allaus i nevades
6. Sequeres
7. Onades de calor i onades de fred
8. Terratrèmols.

Qualsevol estudi que es faci en relació amb els riscos naturals i el canvi climàtic a Catalunya ha de tenir present aquesta distribució i el fet que es refereix a una distribució mitjana, que pot ser totalment alterada a conseqüència d'esdeveniments de gran impacte, com serien la sequera del 2004-2008, les ventades del 2009 o la tempesta de neu del 2010. Així mateix, atenent a les regions, aquesta distribució dels riscos segons la seva importància pot variar considerablement. En conseqüència, els factors d'escala local seran molt importants en futurs estudis i actuacions.

7.2. Antecedents

7.2.1. Informes anteriors en l'estudi de l'impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals a Espanya

L'«Informe Preliminar sobre el Impacto del Cambio Climático en España» (Moreno [ed.], 2005) tracta l'impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals, en dos capítols. En el capítol «El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI» (De Castro *et al.*, 2005), s'indica que en alguns períodes de la Petita Edat del Gel (s.XVI-s.XIX) les sequeres i les inundacions van ser més freqüents i de major magnitud que durant el segle XX, que actualment no hi ha resultats concloents sobre l'evolució del nombre de dies d'abundant precipitació, i que els canvis més rellevants projectats pels models regionals per a l'últim terç de segle en relació amb el clima actual apunten al fet que no s'aprecien alteracions significatives en la freqüència d'anomalies mensuals de precipitació. Per contra, en el cas de la temperatura, s'anuncia un augment en l'amplitud i en la freqüència de les anomalies tèrmiques mensuals, una major fre-

qüència de dies amb temperatures màximes extremes, sobretot a la primavera i a la tardor, i una disminució en el nombre de dies amb temperatures mínimes extremes.

En el mateix informe, en el capítol «Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático» (Benito *et al.*, 2005), es constata que els riscos naturals de major impacte a Espanya, associats al clima, inclouen, principalment, inundacions, sequeres, moviments de vessant, allaus, llamps, incendis forestals, vendavals, ventades, pedregades, temporals i onades de fred i de calor. En el capítol ja es reconeix que la tendència a l'augment en els danys produïts pels desastres naturals afavoreix la idea que s'està produint una major freqüència de successos extrems associada als efectes del canvi climàtic. En consonància amb el capítol esmentat anteriorment, es fa palesa, a partir dels registres històrics i de paleocrescudes, una major freqüència d'inundacions durant els estadis inicials i finals de períodes freds com la Petita Edat de Gel. A les conques mediterrànies les sèries de crescuda del passat indiquen que les avingudes extremes s'han produït durant períodes d'irregularitat elevada de la precipitació tant estacional com anual. Durant els anys setanta i vuitanta es va observar un increment de crescudes catastròfiques amb cabals màxims superiors als enregistrats en les estacions d'aforament en la primera meitat del segle XX. Tanmateix, aquesta tendència no s'ha mantingut a les darreres dècades. L'increment de la temperatura pot augmentar la irregularitat del règim de crescudes i sequeres i pot promoure la generació de crescudes sobtades, rierades o riudes en les conques mediterrànies i de l'interior de la península ibèrica. Tanmateix, l'informe insisteix en el fet que ha augmentat la vulnerabilitat enfront del perill d'inundacions per un augment inadequat de l'exposició (expansió de les zones urbanes properes a les lleres, etc.).

Respecte al risc d'inestabilitat de vessants, Benito *et al.* (2005) insisteixen en el fet que com que les esllavissades per pluja són les més freqüents, la incertesa sobre l'augment de la freqüència de les precipitacions torrencials comporta també una incertesa sobre la futura evolució de les esllavissades, i que és necessari disposar d'un inventari complet d'esllavissades i

aprofundir en les relacions entre els successos plujosos i els diferents tipus d'esllavissada, per poder treure conclusions futures. Referent a les allaus de neu, en els últims decennis no s'ha observat cap canvi de tendència ni en la freqüència ni en la tipologia. Finalment, sobre el risc d'incendis forestals, indiquen que durant el segle xx, l'índex mitjà de perill va augmentar constantment, i ho continuarà fent en el xxi, en coherència amb l'augment de les temperatures i de la sequedat del sòl, fet que induirà a una major dessecació dels combustibles vius i morts i, per tant, a un augment de la seva inflamabilitat. Les zones amb perill alt, la duració d'aquest al llarg de l'any, i les situacions extremes de perill, s'incrementaran amb el temps. Aquests augments fan suposar que la freqüència d'incendis pugui augmentar.

En el mateix informe hi ha un capítol en què es treballa l'impacte sobre les zones costaneres i la pujada del nivell del mar (Cendrero *et al.*, 2005), però aquest tema serà tractat àmpliament en capítols posteriors del present informe.

El recent informe sobre escenaris climàtics regionalitzats per Espanya (AEMET, 2009) no té un capítol específic sobre riscos naturals. Tanmateix, es diu que pel que fa al comportament de les temperatures màximes es pot afirmar amb un alt grau de probabilitat que pels períodes 2011-2040 i 2071-2100, les temperatures màximes experimentaran un augment d'entre 1 i 2 °C, en el primer, i de 5 i 8 °C en el segon, a les regions interiors de la península ibèrica per a l'escenari d'emissió SRES A2, i en comparació amb el període 1961-1990, sent aquest augment més suau en les regions properes al litoral. Aquest fet afavoriria el risc climàtic de l'onada de calor. En el cas de les precipitacions, el treball apunta a una reducció futura de la precipitació en la meitat sud de la Península Ibèrica de fins al 40%. Aquest fet afavoriria el risc climàtic de la sequera, i la desertització. L'informe posa de manifest les incerteses que es troben quan s'analitza el comportament de la precipitació sobre Espanya. Aquestes són especialment elevades en el sector mediterrani, on s'ofereixen resultats contraposats segons com siguin el model global i les regionalitzacions aplicades.

7.2.2. Conclusions extretes del primer Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

El primer *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (Llebot, 2005) no contenia cap capítol específic sobre riscos naturals, però al llarg del llibre es troben referències a aquells que poden tenir més impacte, com serien les inundacions, les sequeres estiuenques i les onades de calor, els incendis forestals, els riscos costaners per pujada del nivell del mar i els riscos sobre la salut. L'estudi reflecteix que la temperatura de l'aire prop de la superfície augmentarà a tot el territori català en el decurs del proper segle, així com que les temperatures màximes seran més altes i hi haurà més dies calorosos sobre totes les àrees continentals, cosa que afavorirà episodis d'onada de calor. Es preveu un augment de l'índex de xafogor i un augment de l'evaporació durant l'estiu als continents, amb el risc associat de sequeres i d'incendis forestals que això comporta. Com a conseqüència de la dilatació tèrmica provocada per l'augment de temperatura, i també com a resultat de la fosa d'un cert volum de gel continental, es preveu un increment del nivell del mar, fet que provocarà inundacions en zones costaneres. També deixa palès que hi ha estudis que prediuen un augment de la intensitat de les precipitacions, i altres que treuen la conclusió que la variabilitat pluviomètrica anual al llarg del segle xx a Catalunya probablement hagi augmentat. Els registres dels darrers lustres no mostren encara el presumpte augment a Catalunya dels ruixats amb més precipitació, si bé es parla de la possibilitat de més situacions de pluges intenses i d'un augment de les intensitats màximes dels vents en ciclons tropicals. L'informe indica que s'ha d'esperar un nombre més elevat d'esdeveniments o episodis meteorològics extrems o riscos climàtics en el seu enfocament temporal ampli. En referència a la temperatura, presenta una nítida tendència creixent a Catalunya, d'acord amb la tendència global planetària que afavoreix el risc natural d'onada de calor. En el mateix informe es parla d'un augment de l'aridesa en les regions seques.

7.2.3. L'informe Aigua i canvi climàtic.

Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya

Es tracta d'un informe elaborat per una comissió d'experts coordinada per l'Agència Catalana de

l'Aigua i amb el suport de la Fundació Nova Cultura de l'Aigua (ACA, 2009). El seu objectiu és l'anàlisi de l'impacte del canvi climàtic en els recursos hídrics, però en alguns moments tracta sobre els riscos de sequera i d'inundacions. El capítol dedicat a les constatacions de caràcter meteorològic a Catalunya (Llasat *et al.*, 2009c) revela que no existeix una tendència clara i comuna en les sèries de precipitació. Es fa una especial incidència en la influència que la selecció del període d'estudi, tant per la seva durada com per la data d'inici i final, pot tenir en els resultats, tal com es revela també en altres estudis internacionals. Tanmateix, s'hi apunta un possible augment de la precipitació a l'estiu a la costa i una disminució de la precipitació a la primavera. Aquest descens podria ser més marcat a les capçaleres dels rius. En la línia de les constatacions, el Servei Meteorològic de Catalunya ha calculat l'evolució dels índexs climàtics definits pel Grup d'Experts en Detecció de Canvi Climàtic i Índexs (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*, ETCCDI) a partir de les sèries de precipitació i de temperatura de l'Observatori de l'Ebre, ubicat a Roquetes (Baix Ebre), i de l'Observatori Fabra, ubicat a Barcelona (Barcelonès), iniciades el 1905 i el 1913, respectivament (Cunillera, 2009). D'acord amb aquest estudi i en relació amb els extrems, s'observa una tendència a l'augment de les nits tropicals, la màxima de les temperatures màximes, la mínima de les temperatures màximes, les nits i els dies càlids, la durada de les ratxes càlides i l'amplitud tèrmica anual, mentre que presenten una tendència a la reducció de les nits fredes, els dies freds i les ratxes fredes. L'Índex simple d'intensitat diària mostra una tendència positiva, que vol dir que un augment del seu valor indica que la pluja total anual cau repartida en menys dies.

El capítol referit a les constatacions biològiques (Peñuelas *et al.*, 2009) apunta a un potencial augment futur de la intensitat dels períodes de sequera i els greus danys que poden comportar en molts boscos i matollars, si bé el grau d'afectació pot ser diferent depenent del tipus funcional i de la història evolutiva de les distintes espècies. El mateix capítol mostra que les condicions més càlides i més àrides, juntament amb altres fenòmens relacionats amb el canvi

global (increment de biomassa i d'inflamabilitat, canvis en els usos del sòl i de les pràctiques i activitats al bosc) podrien augmentar la freqüència i la intensitat dels incendis forestals.

Pel que fa als canvis en les crescudes i les inundacions, el capítol dedicat a Impactes Hidrològics (Gallart, 2009) remarca que en una sèrie de conques de la capçalera de l'Ebre als Pirineus centrals, s'ha observat durant el període 1959-1995 una disminució de la freqüència dels cabals elevats i de les crescudes, i una major incidència de cabals baixos a l'hivern i a la primavera, que es podrien atribuir a l'augment del cobert forestal i a una disminució del mantell de neu a l'alta muntanya. El capítol dedicat a extrems (Manzano, 2009) presenta una anàlisi profunda de l'impacte sobre inundacions i sequeres a Catalunya, i conclou que a Catalunya molt probablement s'aguditzarà el règim hidrològic estacional (reducció d'aportacions a l'estiu i increments parcials a l'hivern) i interanual, amb reduccions de les aportacions mitjanes que donarien lloc a situacions en què les sequeres més extremes podrien doblar tant la freqüència com els dèficits hídrics associats. De la mateixa manera, també indica que és molt probable que es dupliqui la freqüència d'aiguats extrems, amb cabals màxims fins a un 20% superiors als de les estimacions actuals per a períodes de retorn de 10 a 100 anys. En ambdós casos, l'agreuament pot ser major a causa de l'increment de vulnerabilitat.

7.3. Estimació de l'impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals a Catalunya

A nivell europeu, i Catalunya no és l'excepció, es fa palès un creixement significatiu dels danys produïts pels fenòmens naturals a les últimes dècades. A més de l'impacte potencial del canvi climàtic, hi ha altres raons que s'han de tenir en compte:

- L'augment del nivell de vida.
- La concentració de la població.
- Les infraestructures i els béns en llocs privilegiats des d'un punt de vista econòmic o lúdic, però amb existència de perills naturals.
- L'augment de l'ocupació i freqüentació d'indrets amb perills naturals
- El creixement de la mobilitat per carretera o en tren.

- Les accions antròpiques que augmenten el perill (p.ex. la impermeabilització del territori que fa augmentar el cabal i reduir el temps de concentració, els desmunts i les excavacions que desestabilitzen els vessants, etc.).
- El desarrelament per part de la població de les característiques naturals dels llocs en què habiten o s'instal·len i dels seus riscos.
- La manca de conscienciació i d'educació davant el risc amb les conseqüents actuacions incorrectes o imprudents.

Si la relació entre l'augment de gasos amb efecte d'hivernacle i la perillositat dels riscos estrictament meteorològics (p.ex. pluges fortes, tempestes, etc.) és usualment no lineal, l'anàlisi de l'impacte del canvi climàtic es complica quan es parla de riscos no estrictament meteorològics, que s'han d'abordar des d'una perspectiva multifactorial. En el cas de Catalunya s'ha produït un augment de la vulnerabilitat vinculat a l'augment de la població en zones de risc, com pot ser la costa; l'augment de la valoració dels béns susceptibles de ser danyats i l'augment de població emigrant o els moviments de la pròpia població forana que pot desconèixer els riscos locals. Simultàniament s'ha de tenir present que les accions per disminuir l'impacte dels riscos, així com per gestionar les emergències han anat augmentant en les darreres dècades, com és el cas de la millora de la prevenció dels incendis forestals, dels avisos d'allaus, de la predicció meteorològica i dels plans d'emergència específics o de l'existència d'embassaments que es poden haver utilitzat per laminar avingudes o per gestionar els recursos hídrics. Es tracta de factors que també s'hauran de tenir presents quan s'analitzin les tendències actuals i les futures.

En aquest capítol es desenvoluparan amb un cert detall tots els riscos naturals que poden ser afectats pel canvi climàtic, amb excepció dels riscos litorals i els vinculats amb la salut, les malalties i les plagues de les plantes, que es tractaran en detall en el capítol 5 d'aquesta part i en diversos capítols de la tercera part. També volem aclarir que la gran informació de què es disposa respecte a la precipitació, les incerteses existents en l'actualitat, el fort paper que la pròpia precipitació té en el desenvolupament d'altres riscos, i el seu paper capdavanter entre els riscos natu-

rals, queda reflectit en una major dedicació en aquest capítol a aquesta variable.

7.3.1. Pluges fortes i inundacions

Les inundacions són un risc hidrometeorològic mixt que necessita tenir presents els altres factors involucrats. Pel que fa a la part climàtica, el seu règim es pot veure alterat si es produeix un augment o una disminució de les pluges torrencials, sobretot a l'estiu (inundacions locals i sobtades) i a la tardor (inundacions més generalitzades). Les inundacions de primavera són menys freqüents climàticament però quan es donen s'ha de tenir present la possible fusió de neu i, conseqüentment, els canvis que hi pugui haver en l'acumulació de neu. El mateix podria passar a l'hivern. Podrien augmentar o disminuir, si augmentessin els períodes de pluges contínues, o si un canvi molt marcat forçés situacions més freqüents de pluges torrencials en aquesta estació (fenomen que també es dona, com va ser el cas del juny de 2000 o de l'abril de 2002).

La idea més estesa és que la freqüència dels extrems de precipitació probablement augmentarà com a conseqüència del canvi climàtic. Aquest augment es produirà en latituds mitjanes i en altes. Aquests conceptes, com es veurà més endavant, han estat corroborats per resultats de múltiples models climàtics (Durman *et al.*, 2001; Christensen i Hewitson, 2007; Palmer i Räisänen, 2002). Atesa la forta contribució de les precipitacions intenses i de les inundacions al riscs naturals a Catalunya, la major peculiaritat de la precipitació envers la temperatura, i l'abundant bibliografia, en aquest capítol es farà una incidència especial sobre aquest tema.

7.3.1.1. Zones de major afectació

Els aiguats i les inundacions poden afectar qualsevol punt de Catalunya. Així, per posar uns exemples, les inundacions de 1907, 1937, 1940 i 1982, van afectar principalment les zones pirinenques, prepireniques i la conca de l'Ebre; les de 1971, gairebé totes les comarques de la costa; i les de octubre del 2000, les comarques del sud i la Franja. Tanmateix, on el risc és més alt és a les comarques de la costa i a les comarques situades a les capçaleres dels rius Noguera Pallaresa i Noguera Ribagorçana, tal com revela la figura 3

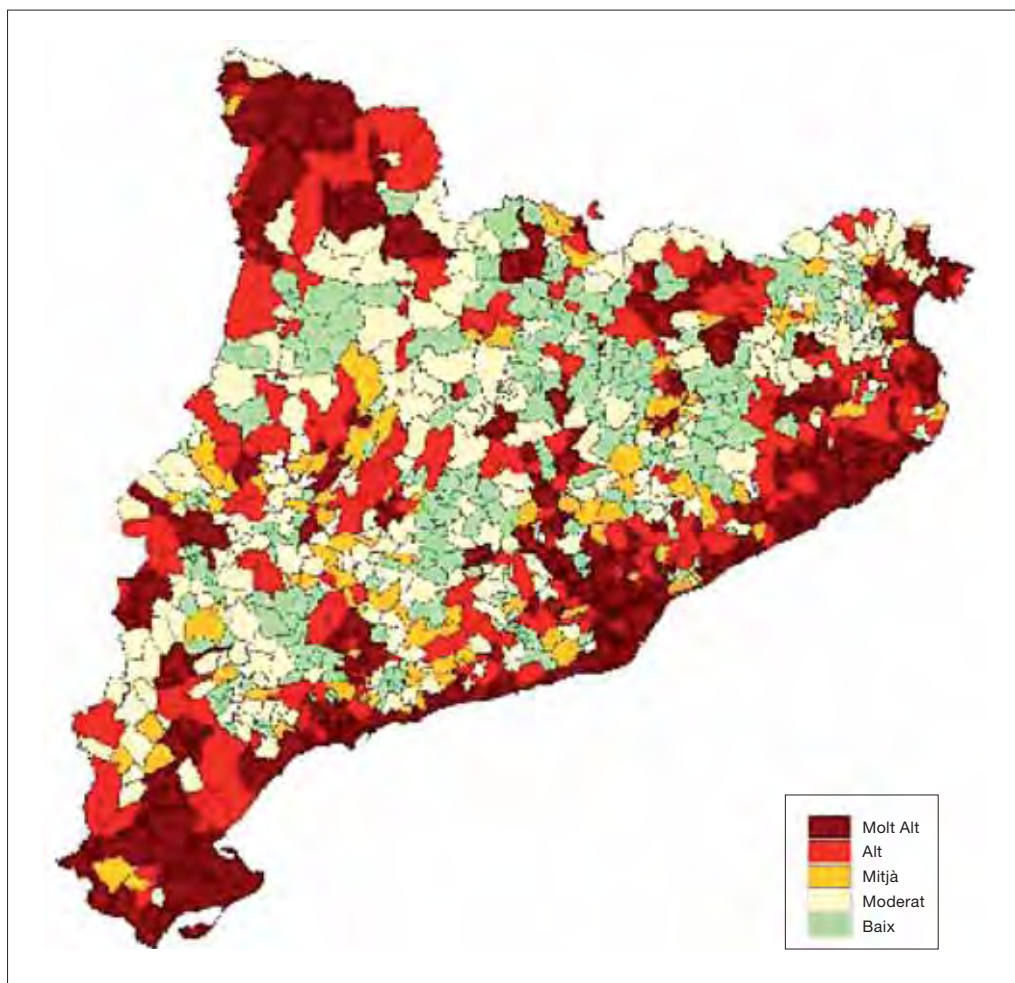


Figura 3. Mapa de risc d'inundacions a Catalunya per municipis (INUNCAT).

corresponent al mapa fet per l'INUNCAT (2006). Si considerem aquells augments de cabal, avingudes o desbordaments que hagin produït danys a la població i dels quals hagi quedat constància dins del període 1901-2000, s'arriba a una xifra de 217 episodis d'inundació, concentrats principalment en els municipis de la costa, tal com es pot veure a la figura 4. (Barnolas i Llasat, 2007).

7.3.1.2. Tendències observades a Catalunya

Convé distingir entre les tendències observades en la precipitació, que és la variable que estaria directament afectada pel canvi climàtic, i aquelles observades en les inundacions. La sèrie de pre-

cipitació més llarga de la qual disposem és la de Barcelona, que un cop completada i homogeneïtzada, pot arribar a estendre's fins al 1786, en el cas de la pluja mensual, i fins al 1851, en el cas de la pluja diària (Barrera-Escoda, 2008). En el cas de Barcelona, com a la major part del país, les estacions més plujoses són la tardor (principalment setembre-octubre, fet que fa que en pluviometria es consideri com a tardor el període setembre-octubre-novembre) i la primavera (març-abril-maig), motiu pel qual les anomalies que es trobin en aquestes estacions tindran un pes més gran, sobretot pel que fa a les sequeres, com es comentarà més endavant. Cal dir que, en

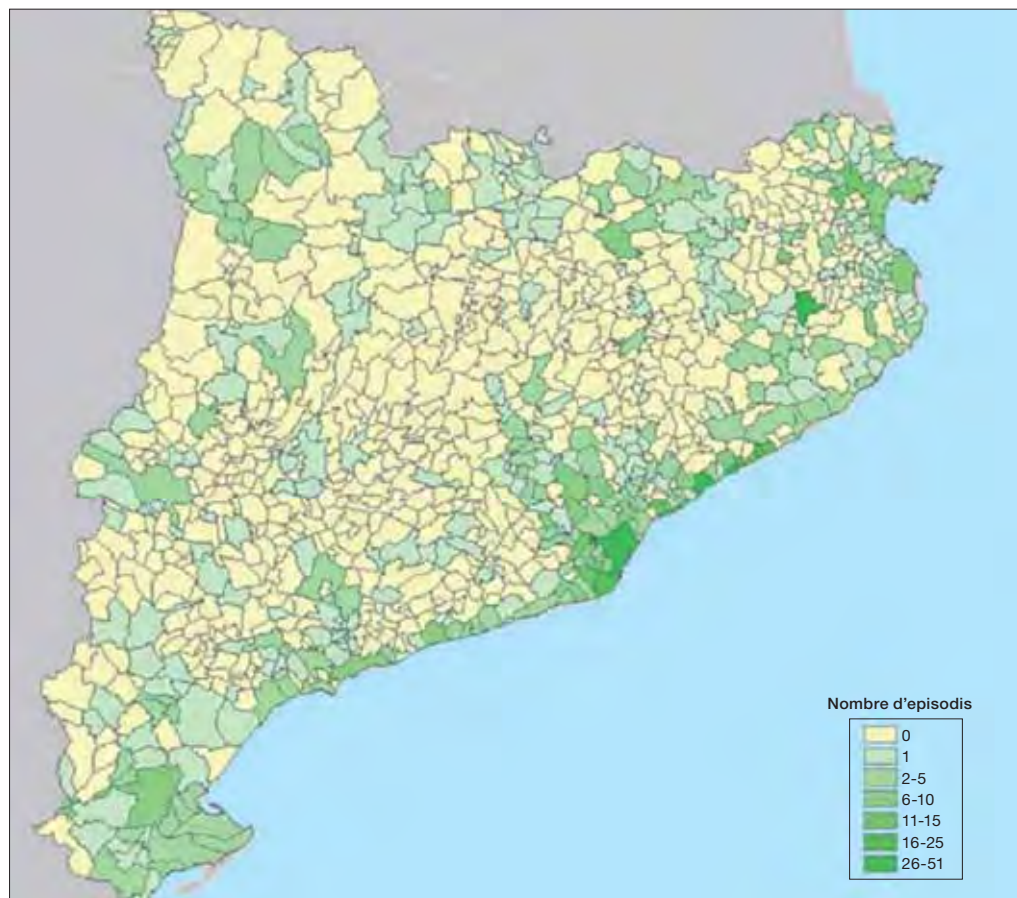


Figura 4. Distribució per municipis del nombre d'episodis d'inundació enregistrats a Catalunya entre 1901 i 2000
Font: Barnolas i Llasat, 2007

el cas de les comarques pirinenques, l'estiu enregistra de mitjana més precipitació que la tardor. D'altra banda, els aiguats a Catalunya sovint estan vinculats amb precipitació de caràcter convectiu (Llasat, 2009), sent l'estiu l'estació en la qual la contribució d'aquest tipus de precipitació respecte a la total és major, seguit de la tardor, com es pot veure a la figura 5 (Llasat, 2001). La figura 6 dona una idea de quines parts de Catalunya són les més afectades per pluges de caràcter convectiu, que són les que poden produir els aiguats forts. En efecte, l'estiu es caracteritza per pluges associades a tempestes de curta durada però amb intensitats de precipitació molt elevades, que poden donar inundacions locals, com són les típiques del Maresme, mentre que la tar-

dor pot enregistrar intensitats de pluja elevades sostingudes durant bastant temps, produint inundacions a conques més grans (p.ex. les inundacions del novembre de 1982, de l'octubre de 1987, del setembre de 2006; per a més informació consulteu Llasat, 2009). Primavera i hivern també poden enregistrar fenòmens de pluges excepcionals i inundacions (p.ex. el gener de 2006 i el juny de 2000), si bé no són tan freqüents. Finalment, és molt possible que les sèries mensuals no reflecteixin l'existència d'aiguats d'un dia o de menys de durada, però sí que reflectiran els períodes de déficit pluviomètric. Això dificulta no tan sols l'anàlisi de les tendències observades, sinó també la predicció d'escenaris futurs, ja que l'escala de treball és, normalment, mensual.

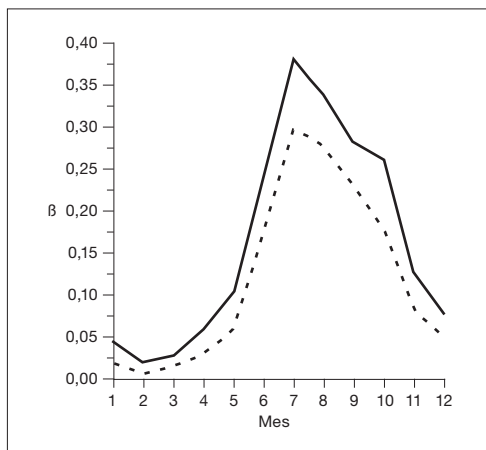


Figura 5. Distribució del quocient entre la precipitació convectora respecte a la precipitació total, β , per a cada mes, a Barcelona (Llasat, 2001). La major part d'inundacions a Catalunya són produïdes per pluges amb valors de β superiors a 0,3. En un episodi típic d'estiu es poden assolir valors de β superiors a 0,8.

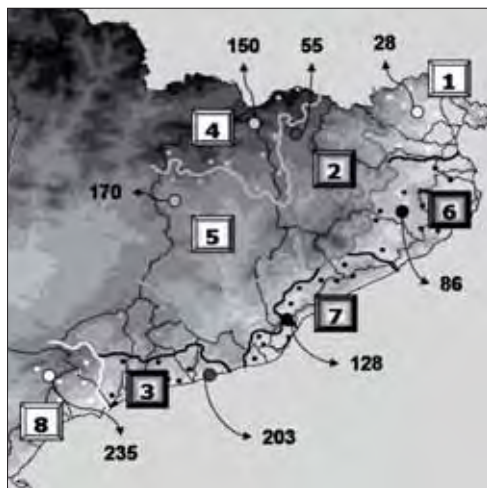


Figura 6. Regionalització de les Conques Internes de Catalunya atenent a la seva afectació per part de pluges convectives i intenses. En les regions 3 (Tarragonès) i 7 (Barcelonès i Maresme) més d'un 30% de la precipitació anual és de caràcter convectoriu. La regió 1 (Alt Empordà), enregistra el major nombre d'episodis molt convectius (més d'un 75% de la precipitació és de caràcter convectoriu). En la regió 5 (part mitjana de la Conca del Llobregat), més d'un 75% dels episodis convectius són de caràcter moderat a fort.

Font: Llasat et al., 2007b.

L'anàlisi de la precipitació anual de Barcelona en el període 1786-2005 indica que no presenta cap tendència estadísticament significativa, però

que en canvi, sí que es detecta un augment lleuger (de l'ordre de 0,1mm/a) de la precipitació a l'estiu, mentre que en el cas de la primavera, si bé es cert que apareix una certa tendència negativa, aquesta no és encara significativa, com tampoc són significatives les tendències positives observades a la tardor i a l'hivern (Barrera-Escoda, 2008). Altava-Ortiz *et al.*, (en premsa) apunten a un descens que es concentra a la primavera, principalment al mes de març, i també afirmen que la dècada 1995-2004 ha estat la més seca des del 1850, malgrat que aquest comportament no es plasma en una tendència estadísticament significativa. Aquest descens al principi de la primavera també és detectat per altres autors (Paredes *et al.*, 2006). El tractament de les sèries areals de precipitació anual per a la regió compresa per les conques de l'Ebre i les conques internes, en el període 1897-1998, revela una lleugera tendència positiva de 0,49 mm/any, però que no és estadísticament significativa (Barrera-Escoda i Llasat, 2004). La precipitació areal té l'avantatge de ser més representativa de la regió en el seu conjunt. Tanmateix, en tots els casos s'han de tenir presents les fortes anomalies negatives enregistrades cap a principis del segle xx i cap al 1950 (figura 7), així com el fet que si es considerés la darrera sequera 2004-2008, les tendències negatives serien més marcades.

Respecte al nombre de dies de pluja, tan sols es troba una tendència positiva significativa en el nombre de dies amb pluja per sota de 10 mm, a Barcelona, entre el 1854 i el 2005, que es deu a la millora dels aparells de mesura; en canvi, no es detecta, per ara, cap augment del nombre de dies de pluges fortes (Barrera-Escoda, 2008).

Si ens centrem en valors extrems, la sèrie de precipitacions diàries màximes anuals de la ciutat de Barcelona del període 1851-2000, mostra una certa tendència positiva, si bé a causa del valor del pendent (inferior a 0,02 mm/dècada), com de la correlació, es pot considerar menyspreable (Barrera-Escoda *et al.*, 2006).

Evidentment aquests resultats poden canviar si ens referim a altres períodes, com ja s'ha discutit abastament per diferents grups d'experts, a més de la influència que la pròpia metodologia emprada en l'anàlisi de tendències pot tenir en la interpretació dels resultats. Així, en el període

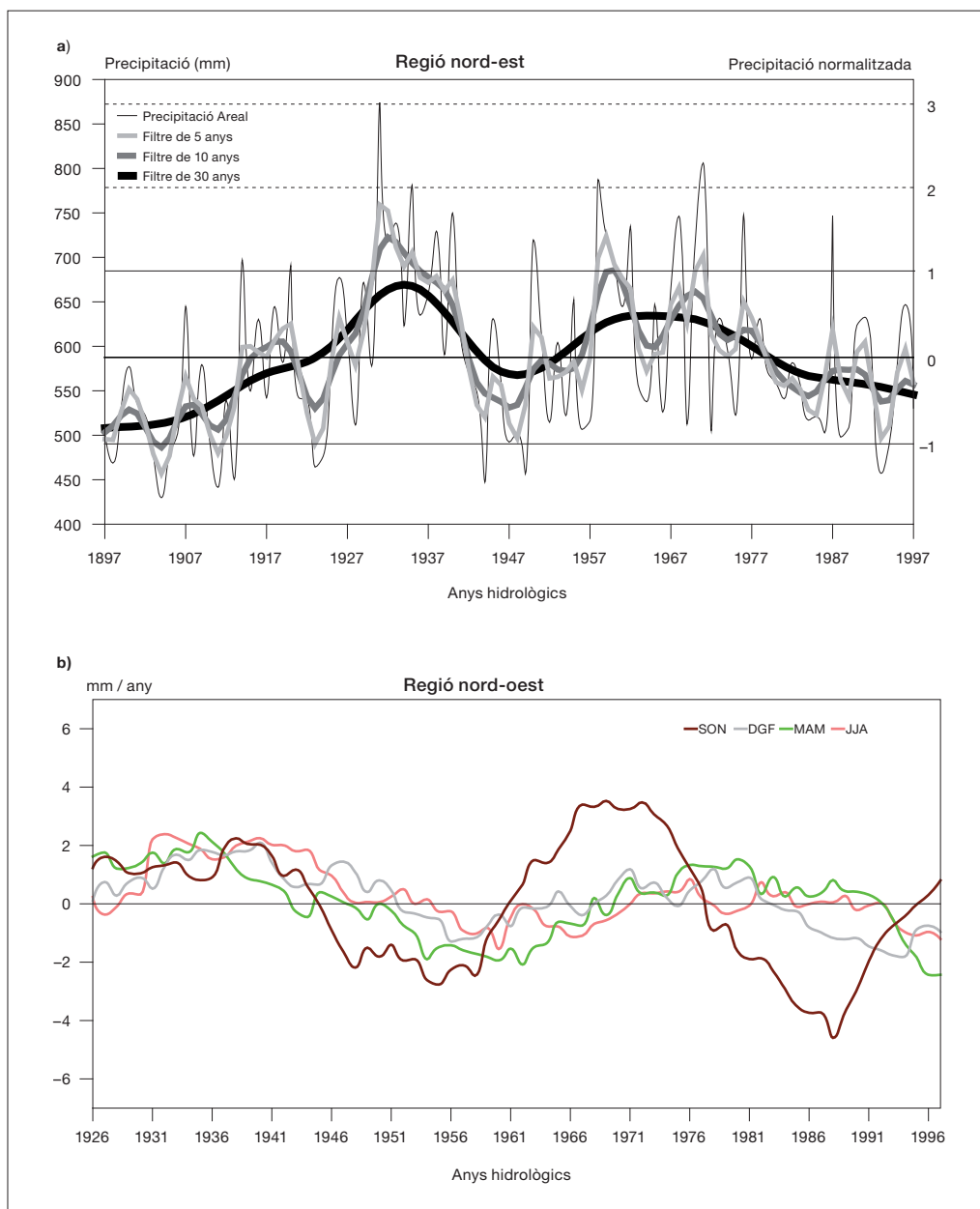


Figura 7. a) Evolució temporal de les sèries areals anuals suavitzades amb filtres gaussians de 5, 10 i 30 anys per a les conques de l'Ebre i internes de Catalunya per al període 1897-1997 (Barrera-Escoda i Llasat, 2004); b) Evolució de la mitjana areal mòbil estacional amb una longitud de finestra de 30 anys, per a les conques de l'Ebre i internes de Catalunya, per al període 1897-1997 (Barrera-Escoda, 2008)

1951-2000 es troben algunes sèries de precipitació anual amb tendència negativa, si bé només dues (Torrelló i Vilaller) són significatives (Llasat *et al.*, 2009c). En el mateix període, Gonzalez-

Hidalgo *et al.* (2009) coincideixen a assenyalar una manca de tendència global en la precipitació mensual, amb excepció del mes de març, amb tendència negativa, tal com s'ha comentat ante-

riorment a partir de sèries més llargues. D'aquest darrer treball es pot inferir a Catalunya un predomini de les tendències positives al gener i, en menor grau, al maig (a l'interior i nord-est), a l'agost (al sud i al nord), i a l'octubre (a les comarques de la Noguera). Burgueño *et al.* (2005) troben una tendència significativa en el nombre anual de dies de pluja a 23 estacions de les 75 estacions catalanes que analitzen, però conclouen que no hi ha una tendència generalitzada en el nombre anual de dies de pluja en el període 1950-2000. Cal esmentar també els treballs elaborats en aquesta temàtica per la Universitat Rovira i Virgili (Saladié *et al.*, 2004, 2006, 2007).

Dels índexs climàtics calculats pel Servei Meteorològic de Catalunya i referits a l'Observatori Fabra (Barcelona) i a l'Observatori de l'Ebre (Tortosa) des de 1913 i 1905, respectivament (Cunillera, 2009), l'evolució del valor màxim anual de la precipitació diària (PX1dia) presenta una tendència positiva en el primer i negativa en el segon, però estadísticament no significatives; la màxima anual de la precipitació enregistrada en 5 dies consecutius (PX5dia) té una tendència positiva en ambdues estacions, però no és significativa com tampoc ho és la tendència positiva del nombre de dies en què la pluja supera els 50 mm o dies de precipitació molt abundant (DP50), ni la tendència de la pluja total acumulada en els dies en què la pluja diària supera el percentil 95 (dies molt plujosos) (P95pTOT) i el percentil 99 (dies extremament plujosos) (P99pTOT). La precipitació total anual dividida pel nombre de dies amb pluja superior a 1 mm o Índex Simple d'Intensitat Diària (SDII) és l'únic índex relacionat amb pluges fortes que presenta una tendència positiva estadísticament significativa (SMC, 2008). L'índex R90N referit al nombre d'episodis amb precipitació superior al percentil 90, en el període 1950-2006, presenta una certa tendència negativa sobretot a la part de la conca de l'Ebre, mentre que el percentatge de precipitació total procedent d'aquests episodis no presenta cap tendència amb excepcions d'algunes estacions de les comarques més occidentals, en què és negatiu (López-Moreno *et al.*, 2009a). Finalment, el càlcul d'aquests índexs per a tot Catalunya, utilitzant la base de dades SPAIN02 amb una resolució de 10 k × 10 km (Herrera *et al.*,

2010), en el període 1950-2003, dins del context del projecte ESTCENA, corrobora a escala regional els resultats mostrats per Cunillera (2009). En efecte, l'únic índex relatiu a precipitacions extremes que presenta una tendència significativa (99% confiança) és l'SDII, si bé tan sols a l'estiu i amb un comportament dipolar, és a dir, augment a algunes comarques de la costa i a la Vall d'Aran, i disminució als Pirineus i a la conca del Segrià (figura 8). Finalment, utilitzant la mateixa base de dades, s'observa una disminució de la precipitació a la primavera a la conca del Segre, des dels anys setanta, i un augment de la precipitació a la tardor en gran part d'aquesta conca, així com a la costa central.

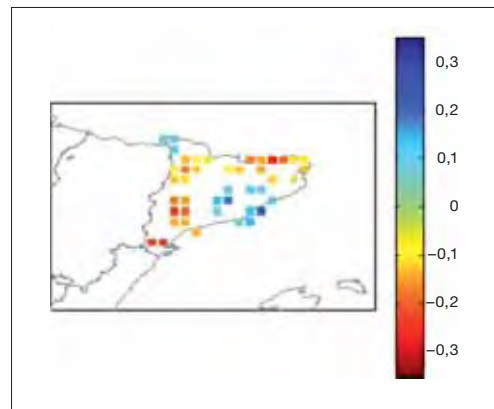


Figura 8. Evolució de l'índex SDII 1973-2003. Es presenten els píxels amb tendències significatives amb una confiança del 99%

Respecte a les inundacions, és important distingir entre inundacions catastròfiques, extraordinàries i ordinàries, depenent dels danys (sense comptar pèrdues humanes) (Llasat *et al.*, 2005). Les primeres són les més vinculades a les variacions climàtiques, com es pot veure a la figura 9. La figura reproduïx l'evolució de les inundacions en els darrers 700 anys; els màxims coincideixen amb moments de màxim desenvolupament de les geleres alpines, així com amb els extrems de la Petita Edat de Gel i l'oscil·lació Maldà (Barriendos i Martín Vide, 1998; Llasat *et al.*, 2005; Barriendos i Llasat, 2003). Les inundacions ordinàries i extraordinàries depenen en gran part dels usos del territori en les proximitats dels rius i les rieres. La figura 10 mostra l'augment

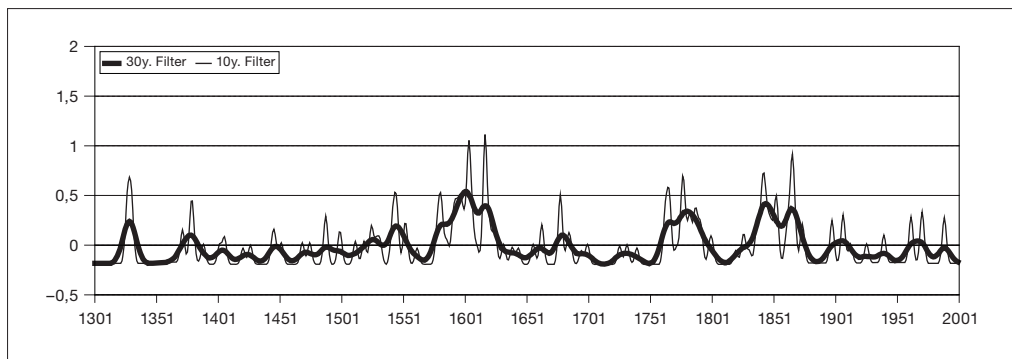


Figura 9. Evolució d'un índex normalitzat que representa el nombre anual d'inundacions catastròfiques a Catalunya en el període 1301-2001 (s'ha aplicat un filtre gaussià de 10 i 30 anys respectivament).

Font: Llasat et al., 2005.

de les inundacions a la costa en la segona part del segle xx (Barnolas i Llasat, 2007), que estaria causat principalment pels canvis en els usos del territori i per la impermeabilització del territori,

l'augment de densitat de població i la pressió urbanística (Llasat et al., 2008a). En efecte, la figura 11 mostra un increment de les inundacions extraordinàries en els darrers 25 anys. Si en tot

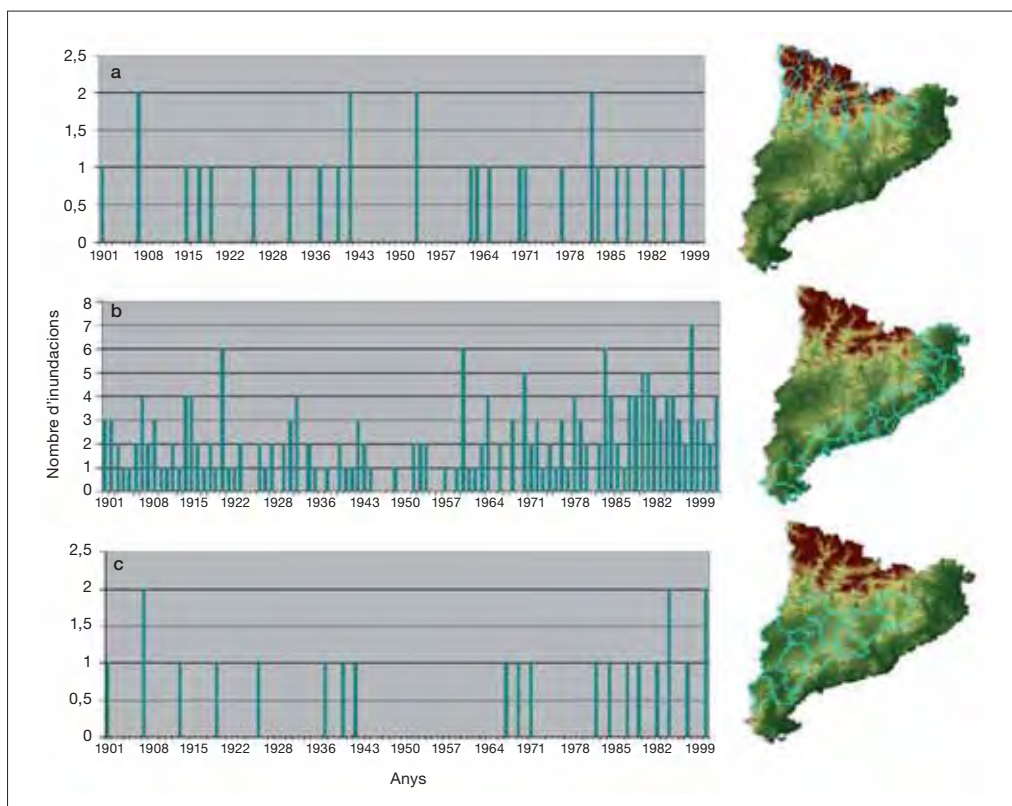


Figura 10. Evolució de les inundacions a Catalunya en el període 1901-2000.

Font: Barnolas i Llasat, 2007.

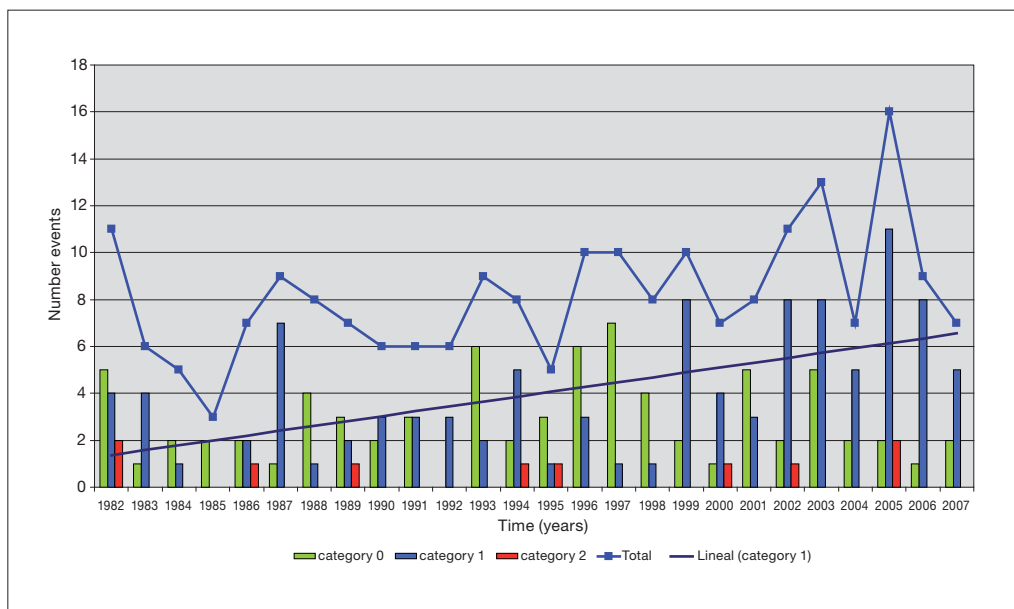


Figura 11. Evolució de les inundacions a Catalunya en el període 1982-2007. Es diferencia entre inundacions ordinàries (0), extraordinàries (1) i catastròfiques (2).

un segle tenim constància de 217 episodis d'inundació, en el període 1982-2007, en tenim 212. Els resultats trobats en l'SDII apunten a un possible augment de la precipitació recollida per dia de pluja a la costa, però els altres índexs vinculats amb les precipitacions extremes no presenten cap tendència, per la qual cosa no es pot concloure que hi hagi un augment d'episodis de precipitacions intenses. Si bé és cert que avui en dia tenim molta més informació i que és probable que no tinguem constància d'algunes avingudes menors del segle xx, és indubtable que aquesta tendència positiva està lligada a un augment de la percepció, un augment dels impactes i un canvi en els usos del sòl que, en algunes conques ha produït un canvi en la resposta hidrològica del terreny. De fet, en el període 1982-2007, el mes de setembre va enregistrar un 23,11% del total d'inundacions, seguit d'agost i d'octubre, amb un 16,98%. Aquest màxim podria estar relacionat no tan sols amb les tempestes pròpies de l'estiu (no es detecta, per ara, cap augment), sinó també amb una major ocupació de la costa en aquesta època de l'any, i, consegüentment, amb un augment d'exposició. La major part d'aquestes inundacions són avingu-

des sobtades, enregistrent-se un augment en els darrers 25 anys, que és degut sobretot a l'augment observat al Maresme i a l'Alt Empordà, molt vinculat al creixement de població a l'estiu. Aquest increment d'inundacions sobtades, associades a pluges molt intenses però de curta durada, també s'observa a la ciutat de Barcelona (figura 12). Aquesta figura mostra com la intervenció humana pot alterar considerablement la distribució d'inundacions: el màxim observat a mitjans del segle XIX estaria en part relacionat amb l'enderrocament de la muralla de Barcelona, que en alguns punts feia de protectora de la ciutat, mentre que la disminució d'inundacions catastròfiques a la ciutat que s'observa al final de la sèrie, es justificaria en part per la gestió de la xarxa de drenatge i la construcció de dipòsits d'aigües pluvials (Barrera-Escoda *et al.*, 2006). L'augment d'inundacions extraordinàries en realitat podria també reflectir una disminució del llinar de tolerància i un augment de la percepció.

7.3.1.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

Com ja s'ha dit en l'apartat relatiu als informes anteriors, alguns models apunten a llarg ter-

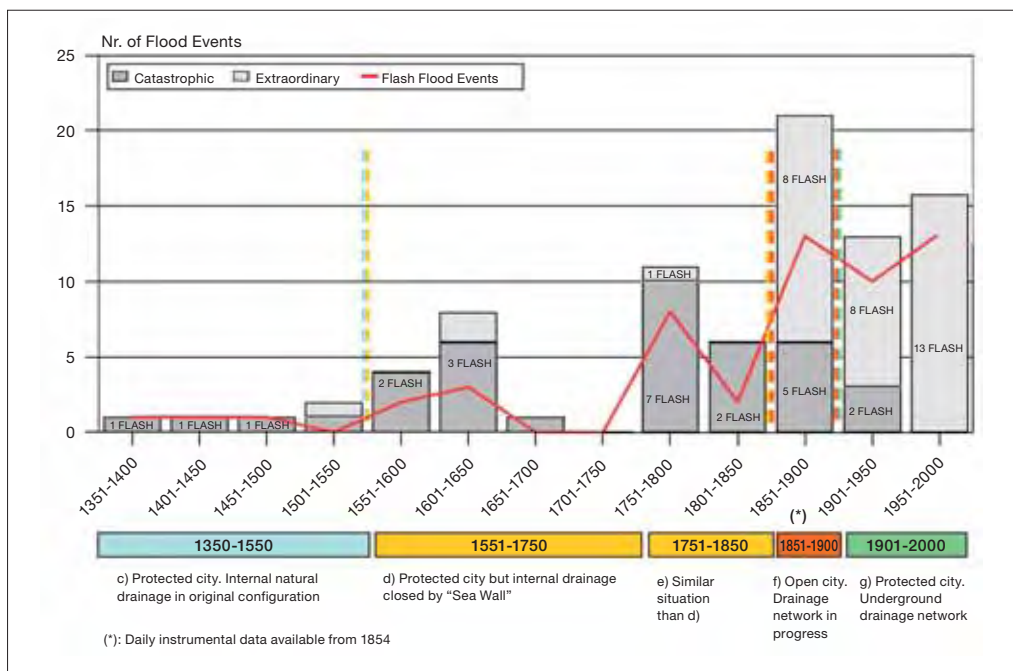


Figura 12. Evolució de les inundacions enregistrades a la ciutat de Barcelona des de 1351 a 2000.

Font: Barrera *et al.*, 2006.

mini (2020-2100) a un increment de la freqüència dels aiguats, però cal remarcar que el grau d'incertesa és encara molt elevat. Existeix la impressió generalitzada de que un major escalfament portarà com a conseqüència una quantitat més alta de vapor d'aigua i d'energia latent, i, conseqüentment, un major nombre de «gotes fredes». Tanmateix, la idea que els aiguats estan produïts per «gotes fredes» és del tot errònia (Llasat *et al.*, 2007a). Si bé és cert que aquestes poden estar presents en alguns casos, la majoria dels aiguats que es produeixen a Catalunya estan relacionats amb l'existència d'una baixa pressió en les seves proximitats, que ajuda a crear la circulació, la inestabilitat o a disparar els processos que donaran lloc a l'aiguat (Jansà *et al.*, 1996; Jansà *et al.*, 2001; Rigo, 2004). La major part d'inundacions es produeixen, entre d'altres factors, per una entrada d'aire molt càlid i humit en nivells baixos, procedent del Mediterrani, usualment organitzat per la baixa pressió, amb presència o no d'aire fred en alçada, i en un context de forta inestabilitat i energia disponible per generar una convecció elevada (Ramis *et al.*, 1998;

Llasat *et al.*, 2003; Llasat, 2009; Martín *et al.*, 2007). La presència de les cadenes muntanyoses catalanes, sobretot, la litoral, és un factor essencial en el desencadenament dels processos o l'estacionarietat dels sistemes convectius que donen lloc a les elevades quantitats de pluja (Llasat i Puigcerver, 1992; Romero *et al.*, 1997; Rigo i Llasat, 2005). Es remarcable, per tant, l'important paper dels factors de mesoscala, que difícilment prediuen els models meteorològics (Ramis *et al.*, 1994; Romero *et al.*, 1998; Martín *et al.*, 2007) i, en conseqüència, encara més difícilment ho veuen els models climàtics.

Aquesta forta dependència dels factors mesoscalars, fan que la relació entre aiguats i circulació general sigui molt difícil d'establir. Potser el senyal més fort seria la connexió que moltes vegades (però no sempre) existeix entre un índex NAO (Oscil·lació de l'Atlàntic Nord) negatiu i la presència d'un solc sobre la península ibèrica que afavoriria el possible desenvolupament d'aiguats, o la relació que existeix amb l'índex WeMO (Oscil·lació del Mediterrani Occidental) (Martín Vide i López Bustins, 2006;

Oliva *et al.*, 2006; López Bustins *et al.*, 2008). Comentarem més a fons la influència dels patrons de variabilitat de baixa freqüència, quan ens referirem a les sequeres.

Un altre aspecte a considerar és l'evolució de la temperatura de l'aigua de mar. Una hipòtesi simple apuntaria al fet que a més temperatura hi hauria més evaporació i més energia latent disponible per desenvolupar la convecció i els aiguats. Però, com que també augmenta la temperatura de l'aire, el gradient de temperatura pot canviar i això implica canvis en la inestabilitat (bàsicament proporcional al gradient). La relació, per tant, no és gens simple. L'anàlisi de la sèrie de temperatura superficial de l'aigua del mar a l'Estartit des de 1974 mostra que ha augmentat significativament fins als 80 m de fondària, amb una tendència compresa entre 0,34 °C/dècada (superfície) i 0,22 °C/dècada (80 m) (Cunillera, 2009). Cal dir que la dècada dels setanta va ser particularment freda, i que, si es considerés una sèrie més llarga, probablement la tendència no seria tan marcada. Sigui com sigui, els valors actuals es troben per sobre de la mitjana i aquesta tendència positiva es dona a tota la Mediterrània. Tanmateix, es troba, per exemple, que l'augment de temperatura de l'aire a l'estiu, a l'Estartit, és inferior al que està registrant l'aigua de mar. En aquest sentit, l'estudi de l'evolució de la SST i la temperatura de l'aire a l'observatori de l'Estartit (1969-2005) no mostra cap increment en aquests gradients.

En l'anàlisi futura és també molt important tenir presents els possibles canvis en la ciclogènesi mediterrània o reforçament de depressions atlàntiques, vinculats també, entre d'altres factors, a la SST. En aquesta línia cal esmentar alguns dels resultats trobats en el context del projecte MEDEX (Mediterranean Experiment) de la WMO (World Weather Research Programme), centrat en l'estudi i la millora de la predicció de les depressions (o ciclons) en el Mediterrani. Campins *et al.*, (2007) mostren com en més d'un 77% dels episodis de pluges intenses a Catalunya s'ha trobat una depressió a prop de Catalunya.

Als aspectes anteriors, de caràcter essencialment climàtic, s'hauria d'afegir la potencial evolució dels escenaris socioeconòmics, de les me-

sures de mitigació i dels canvis antròpics que puguin canviar el grau de perillositat de les avingudes i pluges fortes.

7.3.2. Sequera

Tractarem aquest fenomen en segon lloc per poder continuar amb el discurs pluviomètric. Existeixen diferents definicions sobre el que és la sequera, des de la que considera solament el dèficit de precipitació fins la que té present el balanç entre disponibilitat d'aigua i consum. Conseqüentment, requereix un tractament interdisciplinari i una visió de canvi global, que inclogui factors com els embassaments, el regatge els hàbits de la població, etc. En essència, els factors climàtics que més hi influeixen són la precipitació i la temperatura, però la humitat i el vent també són importants quan es té presents l'evapotranspiració i l'evaporació. Les estacions de primavera i tardor són les més importants a considerar pel que fa a la precipitació a Catalunya, però l'estiu ho és per la part d'evaporació i precipitació en els Pirineus, i l'hivern pel que fa a la precipitació en forma de neu.

7.3.2.1. Zones de major afectació

La gestió dels recursos hídrics a través dels embassaments ha modificat l'impacte de la manca de pluja tant temporalment com en els diversos sectors. Per aquest motiu, més que parlar de zones d'afectació, s'hauria de parlar de sectors d'afectació. Els conreus de secà, els boscos i, en general, la vegetació no irrigada artificialment, en són una excepció, ja que la manca de pluja els afecta directament, com es va veure en el darrer període de sequera (2004-2008). No entrarem aquí en profunditat sobre la gestió dels recursos hídrics, tema que es tractarà en el capítol següent d'aquest informe, però sí que remarcarem la notable dificultat que avui existeix per esbrinar quan comença i acaba realment una sequera, atesa la gran diversitat de criteris existents. Això pot dificultar la selecció dels tipus de temps associats i la identificació de sequeres.

7.3.2.2. Tendències observades a Catalunya

Catalunya sempre ha estat caracteritzada per una forta variabilitat de la pluja. Les figures 13 (Barcelona) i 14 (Ebre i conques internes) deixen ben

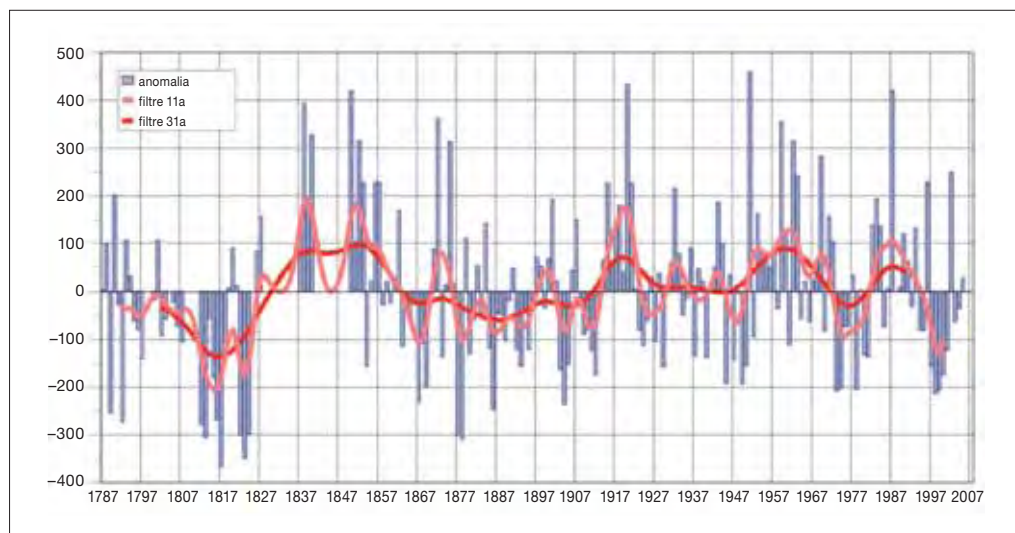


Figura 13. Evolució temporal de les anomalies anuals de precipitació (valor-mitjana) a la ciutat de Barcelona des de 1787 a 2005. Les línies contínues representen l'evolució suavitzada amb filtres gaussians passa-baixos d'11 i 31 anys.
Font: Barrera-Escoda, 2008.

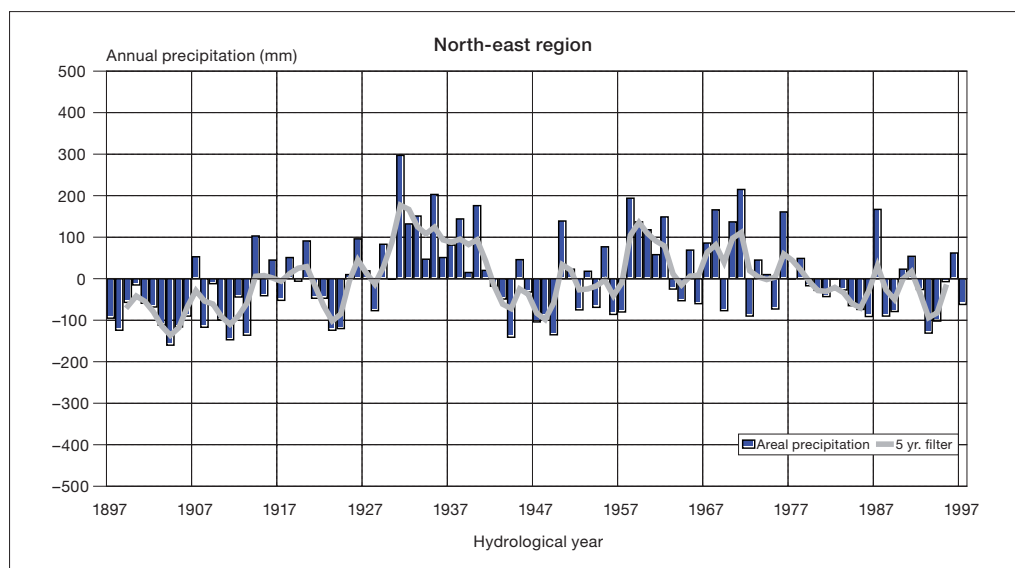


Figura 14. Evolució de les anomalies anuals de precipitació (valor-mitjana) a la conca de l'Ebre i a les conques internes en el període 1897-1998.
Font: Barrera-Escoda, 2008.

palès les fortes anomalies negatives que es van enregistrar durant l'oscil·lació Maldà, a les acaballes de la Petita Edat de Gel (Barriendos i Llasat, 2003), a finals del segle XIX i principis del segle XX, i en les dècades dels 40 i dels 90 (Barrera-Escoda, 2008). Algunes d'elles van tenir

conseqüències veritablement catastròfiques i van forçar l'emigració de la població a conseqüència de la fam, per la pèrdua de les collites i els danys en el bestiar. Podríem dir, per tant, que la sequera pluviomètrica forma part de l'escenari climàtic català, i que a hores d'ara és difícil dir si la

darrera sequera, dels anys 2004-2008, va ser a conseqüència del canvi climàtic o formava part de la pròpia variabilitat natural.

La figura 15 mostra l'evolució de l'índex SPI entre els anys 1982 i 2007; es tracta d'un índex que es calcula a partir de la precipitació acumulada (en aquest cas, la de 12 mesos, SPI-12), de manera que períodes secs estaran associats a valors baixos de l'índex SPI (McKee *et al.*, 1993). La figura mostra una variabilitat considerable, sent remarcable el període final. En la mateixa figura es mostra l'impacte mediàtic de la sequera i com es dispara en determinades circumstàncies,

com podria ser la proximitat de les eleccions legislatives (Llasat *et al.*, 2009a). Abundant en la sequera dels anys 2004-2008, cal dir que la severitat (intensitat i durada) d'aquest episodi està molt per sobre de la d'episodis previs en el segle xx. La figura 16, referida al conjunt de Catalunya i al País Valencià, mostra com l'àrea afectada per sequera extrema va estar a prop dels 40.000 km² (Altava-Ortiz, 2010).

A diferència dels aiguats, els períodes de sequera pluviomètrica estan fàcilment reflectits en les sèries mensuals. Una variabilitat més alta en la pluviometria mensual comportaria un possi-

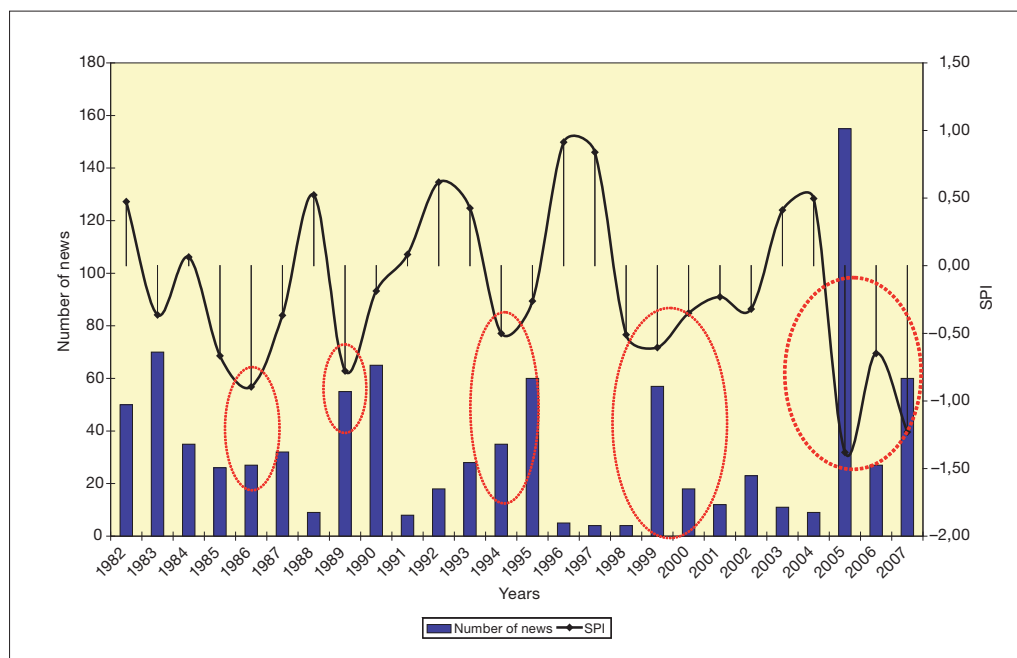


Figura 15. Evolució de l'índex SPI mitjà a Catalunya per al període 1982-2007.

Font: Llasat *et al.*, 2009a.

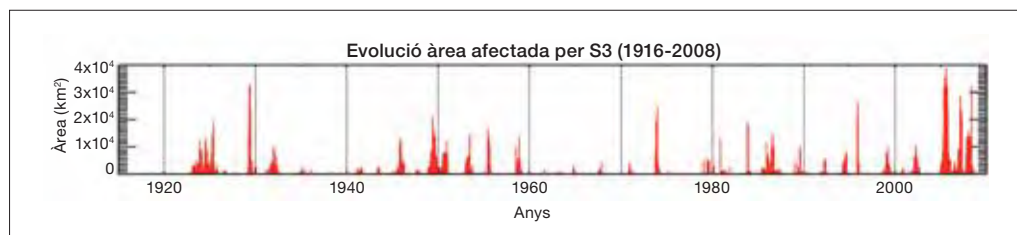


Figura 16. Àrea afectada per sequera extrema amb l'índex SPI-12, durant el període 1915-2008, considerant Catalunya i el País Valencià.

Font: Altava-Ortiz, 2010.

ble augment dels períodes de dèficit pluviomètric. Com ja s'ha comentat abans, qualsevol tendència, inclosa en la variabilitat, dependrà considerablement del període elegit i del tractament efectuat. A Llasat *et al.* (2009c) es diu que el nombre d'estacions catalanes que registren un augment de variabilitat del període 1951-1975 al 1976-2000 no supera una tercera part, localitzant-se a la meitat occidental del territori. D'altra banda, l'índex climàtic corresponent al màxim nombre de dies consecutius en un any amb precipitació inferior a 1 mm o una longitud màxima de la ratxa seca (LMRS) té una tendència lleugerament positiva, però no estadística significativa a les estacions de l'Observatori de l'Ebre i l'Observatori Fabra (Cunillera, 2009), dominant també la tendència positiva (malgrat no ser generalitzada ni significativa en totes les estacions) en el període 1955-2006 (López-Moreno *et al.*, 2009a).

Cal remarcar que un estudi recent sobre les tendències dels extrems de precipitació a Catalunya mostra que aquest índex LMRS (en anglès «CDD index») és l'únic índex d'extrems que presenta una tendència significativa temporal i espacialment en algunes regions de Catalunya (Turco i Llasat, *en rev.*). En aquest treball, desenvolupat dins del projecte STCENA, s'utilitza la base de dades coneguda com SPAIN02 (Herrera *et al.*, 2010), que és la utilitzada per validar les sortides dels models climàtics a Espanya, i conté informació del període 1951-2002 per una malla de 10 km de braç. Es troba que un 30% de l'àrea de Catalunya ha experimentat un augment de la ratxa seca de l'ordre de 2 dies/dècada i que aquest augment es manifesta independentment de la longitud de la finestra d'anys que s'agafi pel càlcul de tendències, sent la més llarga la sèrie 1951-2002 (figura 17). L'estació per a la qual l'augment de la duració de les ratxes seques és el

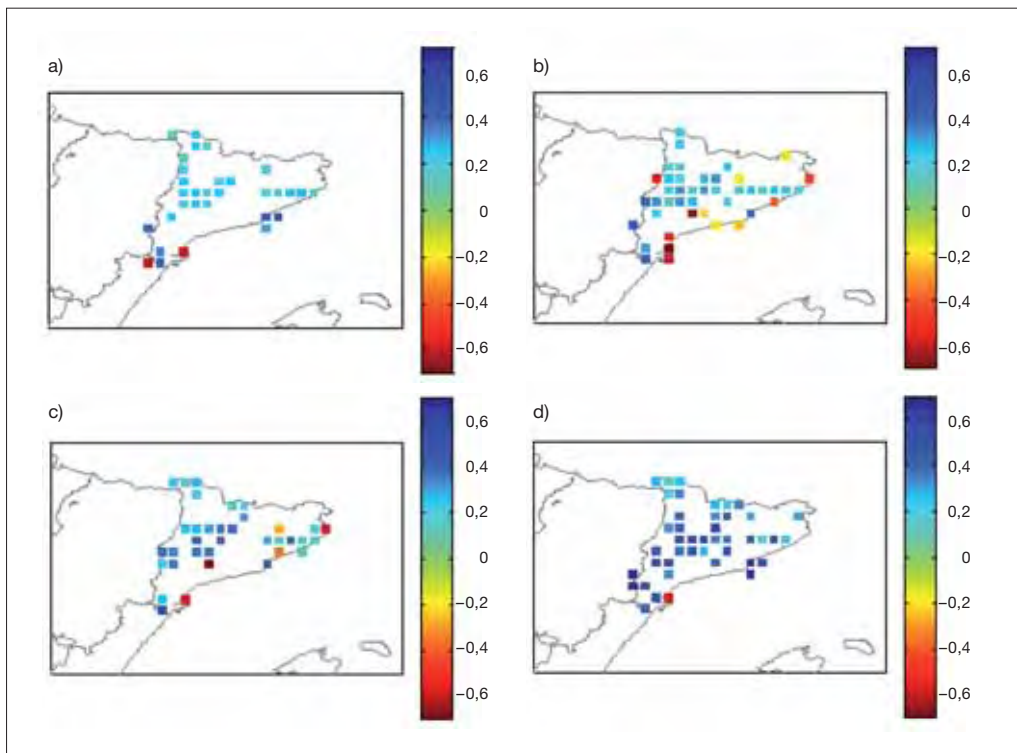


Figura 17. Mapes de tendència de la longitud de la màxima de la ratxa seca (LMRS ó "CDD index") per diferents finestres temporals: a) 1951-2003, 53 anys, b) 1957-2003, 47 anys, c) 1963-2003, 41 anys, d) 1969-2003, 35 anys. Les unitats són dies/any, i es requereix que tinguin una significància del 99%.

més marcat és la primavera. Aquest augment afecta una gran part de les capçaleres dels rius, així com algunes comarques de la costa central i nord i de la Depressió Central Catalana. Tanmateix, si es treballa amb una sèrie mitjana per tot Catalunya, es troba que no hi ha tendència, en produir-se una compensació amb altres regions en què la longitud de la ratxa disminueix.

7.3.2.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

Si atenem als patrons de variabilitat de baixa freqüència, com és el cas de l'índex NAO (North Atlantic Oscillation) o NAOI, que poden ser capturats pels models climàtics, els períodes de sequera estaran caracteritzats usualment per valors positius de l'índex. Aquest índex va ser desenvolupat principalment per a l'hivern, si bé avui en dia s'utilitza per a totes les èpoques de l'any. Si considerem la regió constituïda per les conques internes i l'Ebre i el període 1897-1998, es troba una correlació significativa amb un coeficient de correlació lineal de $-0,60$ en els mesos de desembre i gener, poc significatius des d'un punt de vista pluviomètric; per contra, a l'estiu no hi ha cap correlació, mentre que a la tardor, malgrat trobar-se els coeficients entre $-0,24$ (setembre) i $-0,45$ (novembre), la correlació no és significativa (Barrera-Escoda, 2008). De totes formes, és important assenyalar que la correlació pluja-NAOI està augmentant. Per exemple, la correlació de la precipitació d'hivern amb la NAOI en el període 1898-1948 era de $-0,48$, en tant que va passar a ser de $-0,66$ en el període 1948-1998. Aquesta tendència afavoriria la millora de la predictabilitat. Això també s'observa quan es tracta la sèrie de precipitació d'hivern 1786-2005 de la ciutat de Barcelona, arribant a ser de $-0,5$ al final de la sèrie (Barrera-Escoda, 2008). González Hidalgo *et al.* (2009) troben que en el període 1951-2000 també existeix una correlació negativa significativa entre la precipitació de la franja mediterrània de la Península i el MOI (*Mediterranean Oscillation Index*), a l'entorn de $-0,4$ pels mesos de setembre i maig, que baixaria a $-0,3$ pels mesos de febrer, abril, juliol i agost; i que referint-se al WeMOI (*Western Mediterranean Oscillation Index*) seria de $-0,4$ al maig i a l'entorn de $-0,35$ al gener i al juliol.

Respecte a la influència de les depressions al Mediterrani, introduïda en la part anterior relativa a pluges fortes, els darrers estudis apunten al fet que s'està produint una disminució del nombre de ciclons moderats, que són els vinculats usualment a les pluges. Això implicaria una disminució del nombre d'episodis pluviomètrics, però no necessàriament de la pluja, cosa que, si seguís aquesta tònica, produiria un augment dels períodes de sequera.

El capítol 3 d'aquest informe, referit a escenaris, proposa per a l'escenari A2 i el període 2071-2100, una disminució de la precipitació anual compresa entre el -5% i el -15% de mitjana per tot Catalunya, i que seria més marcada a la costa. La disminució seria més marcada a l'estiu, sent compresa entre el -10% i -30% , però en el cas dels Pirineus, on la precipitació estival és més important, el canvi es trobaria entre el 0% i el -15% . Les regions de la costa i l'interior experimentarien a la tardor disminucions compreses entre -5% i -15% mentre que en el cas de la primavera, seria entre el 0% i el -10% a la costa i -5% i -15% a l'interior. Certament, hi hauria una disminució de la precipitació total i tal vegada un augment de períodes secs, però atenent al fet que els principals embassaments s'alimenten de les pluges als Pirineus i als Prepirineus, i que per a aquests els canvis anuals estarien compresos entre el -5% i el $+5\%$, és difícil predir un major dèficit pluviomètric.

En la sequera també influeix l'evolució de la temperatura, la humitat i el vent, de forma que el gran desig dels experts en recursos hídrics seria poder conèixer l'evolució prevista d'aquestes variables, i, millor encara, poder disposar directament de les sortides de cabal, que també requerrien conèixer els possibles canvis en el territori i els usos consumptius. De moment el que es pot avançar és que un augment de temperatura augmentaria l'evapotranspiració, especialment a l'estiu, però seria necessari conèixer els canvis en la vegetació que es podrien produir en el context dels escenaris futurs. Finalment, cal dir que ja s'ha presentat la modelització dels recursos hídrics en els escenaris futurs, a partir de les sortides regionals per tot Espanya, proporcionades per l'AEMET, que inclouen les sortides del projecte PRUDENCE. Tanmateix, sobre

la gestió dels recursos hídrics, se'n parlarà al capítol següent.

7.3.3. Incendis forestals

Els incendis forestals són un risc mixt amb una forta component meteorològica, però on s'han de tenir presents els altres factors involucrats, particularment la vegetació, l'orografia i les intervencions humanes (urbanitzacions, vies de comunicació, xarxes elèctriques, etc.). Pel que fa a la part climàtica, el seu règim es pot veure alterat si es produeix un augment de les temperatures, així com canvis en la distribució temporal i espacial de la precipitació, el vent i la humitat. Això implicaria a mitjà termini canvis en la vegetació cap a plantes més petites (menys càrrega) i un desplaçament geogràfic d'algunes espècies. També seria necessari conèixer el possible impacte del canvi climàtic sobre les tempestes elèctriques, ja que una part dels incendis es deu a la caiguda d'un llamp. Malgrat que es produeixen incendis forestals en qualsevol època de l'any és molt important conèixer els canvis que es poden produir a l'estiu.

7.3.3.1. Zones de major afectació

La figura 18 mostra la distribució de l'activitat de foc a Catalunya des de 1979 (Aguadé *et al.*, en rev.). Hi ha una major concentració d'incendis en les regions Litoral i Prelitoral, que estaria vincu-

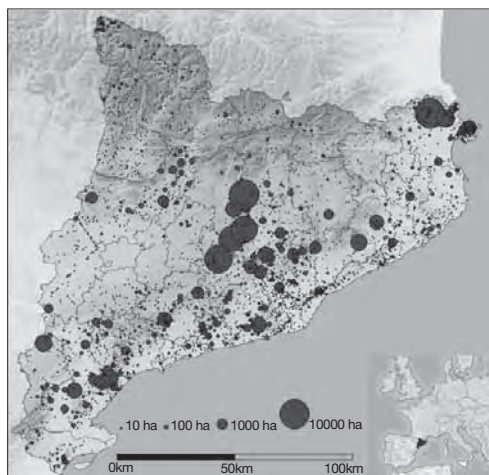


Figura 18. Distribució de l'activitat del foc forestal a Catalunya entre 1979 i 2008.

Font: Aguadé *et al.*, (en revisió).

lada a la distribució de la població, atès el fort component antropogènic en l'inici dels incendis forestals (al voltant del 90%). Tanmateix, els incendis de major extensió han afectat les comarques de l'interior com el Solsonès, l'Anoia o el Bages, a més de les comarques gironines de l'Empordà, on la tramuntana juga un paper important.

7.3.3.2. Tendències observades a Catalunya

La figura 19 permet observar que no existeix una tendència positiva en el nombre d'hectàrees cremades per incendis forestals a Catalunya, des de 1970. Destaquen els màxims de 1986 i de 1994, i, en tot cas, es podria parlar d'una tendència negativa al final de la sèrie. Respecte al nombre d'incendis, es detecta un augment des de l'inici de la sèrie fins al 1994, però que a la darrera dècada ja no s'observaria. Aquesta tendència positiva no sostinguda en el temps és en part conseqüència del canvi de criteris en l'elaboració de l'estadística dels incendis forestals, ja que en les primeres dècades de la sèrie no es consideraven els incendis petits, i per tant, la sèrie no és homogènia. El treball que estan desenvolupant Blanco *et al.* (en prep.) reconstrueix la sèrie i l'homogeneïtza, arribant a la conclusió que l'evolució en el nombre d'incendis per sobre de 0,1 ha no mostra cap tendència significativa que es mantingui des del principi de la sèrie. De fet hi ha un màxim en el nombre d'incendis, cap a mitjans de la sèrie. Per explicar aquesta manca de tendència malgrat l'augment de temperatura és necessari tenir present la millora en la prevenció (que inclou canvis de comportament de la població) i l'extinció d'incendis experimentada en els darrers anys.

7.3.3.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

Els resultats comentats en l'apartat anterior requereixen una reflexió que donarà llum als punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs. Els factors climàtics i meteorològics tenen un important paper, tant en l'estat de la vegetació com en les condicions que poden afavorir l'inici i l'extensió de l'incendi, però no són els únics factors a considerar. Condicions extremes de baixa humitat, fort vent i elevada temperatura, com les dels incendis de 1994, amb una situació sinòptica favorable i una sequera prèvia important, se-

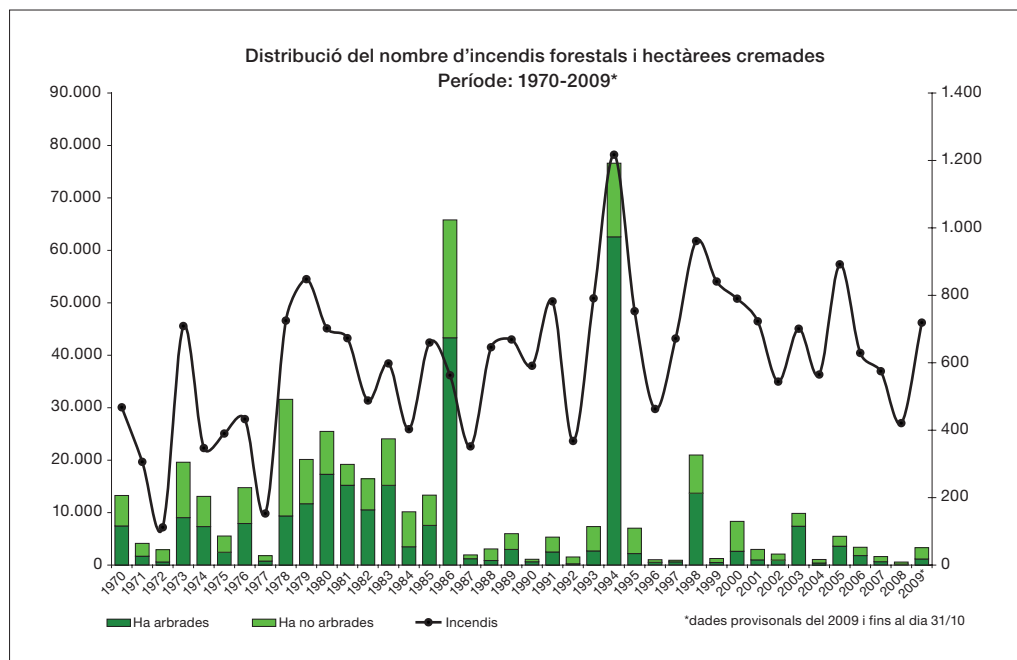


Figura 19. Evolució de l'activitat de foc a Catalunya (1 gener 1970-31 d'octubre 2009). Cortesia del Servei de Prevenció d'Incendis Forestals. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

rien un exemple de la influència de la meteorologia en els incendis forestals.

El nombre d'ignicions que es produeixen està fortament vinculat a l'activitat humana. Un coneixement més alt dels factors que poden incrementar el potencial inici i extensió del foc, el desenvolupament de nous hàbits i normatives que evitin en bona mesura el inici dels incendis, les mesures preventives, la millora de la generació de mapes de risc d'incendi i de propagació, i les actuacions dels bombers i cossos rurals, poden disminuir en gran part el nombre d'incendis. Això és el que ha passat en els darrers anys. Cal dir que ni l'augment de temperatura ni les darreres sequeres han estat un factor favorable per a aquesta disminució, i que l'incendi que va afectar més de 5.000 ha (majoritàriament agrícoles) a la demarcació territorial de Lleida el juliol de 2009 va ser totalment inusual. En efecte, va ser un foc agrícola de gran extensió i virulència que es propagava afectant la massa forestal (normalment és al contrari) i afectant béns com cases, tractors, coberts, i produint, lamentablement, una víctima mortal. Casos com aquest, tan sin-

gular fins al moment, serien un exemple de la versatilitat d'aquests tipus de fenòmens, i que en un escenari de canvi climàtic afegeixen un repte encara més gran.

En un escenari de temperatures més elevades, un augment de la ratxa de dies secs i una disminució de la precipitació a la primavera, hem d'esperar un agreujament del problema de forma generalitzada. Així mateix podem trobar noves zones d'afectació, com seria el cas de zones arbrades a les parts mitjanes de les muntanyes i de més latitud. Com en el cas de les inundacions, l'impacte del canvi climàtic en els incendis forestals requereix el coneixement, no tan sols dels escenaris de temperatura, precipitació i humitat, sinó també dels canvis en freqüència i en intensitat de les situacions meteorològiques favorables a la ignició i a la propagació, dels canvis en la vegetació i en les condicions del sòl (sobretot, la humitat) i dels canvis en la capacitat d'adaptació i de resiliència.

La disminució detectada en el nombre d'incendis a Catalunya i la contenció del nombre de superfície afectada, malgrat l'augment de tempe-

ratura ja detectat i la darrera sequera, és un bon exemple de com la conscienciació ciutadana, les mesures preventives i les millores en la predicció i la capacitat d'extinció, entre d'altres aspectes, poden millorar la capacitat d'adaptació i de resiliència enfront dels riscos naturals en un entorn de canvi climàtic i augment de les condicions meteorològiques desfavorables. Evidentment, això no evita que hi pugui haver anys dolents, en què malgrat els esforços i les millores no s'assoleixin els resultats desitjats, però vol ser una crida a les oportunitats que tenim enfront dels riscos naturals.

7.3.4. Temporals de vent, temporals marí-tims, tornados i petits huracans mediterranis o *medicans*

Els temporals de vent, tornados, «derechos» i huracans es consideren dins del temps sever i, per tant, són riscos que depenen exclusivament de les condicions atmosfèriques. En el cas dels temporals de vent, i malgrat que no se'n parla gaire es troba en el número 1 de les peticions d'informes al Servei Meteorològic de Catalunya com a conseqüència de danys menors (Amaro *et al.*, 2009). Per tant es tracta d'un risc elevat més que pels danys d'un esdeveniment específic, per la seva elevada freqüència. En algunes comarques és el risc més important. A més dels danys freqüents però poc greus, s'han de considerar els forts temporals de vent, que juntament amb les pluges intenses constitueixen una característica mediterrània, així com les llevantades que afecten la costa. Els esdeveniments de novembre de 2001, d'octubre de 2005 i el més recent del 24 de gener de 2009 en són un clar exemple. Precisament aquest darrer temporal, conegut com a Klaus, va posar de moda el terme *ciclogènesi explosiva*, per donar a entendre una disminució de pressió de 24 hPa o més en 24 hores (Genovés *et al.*, 2010; Liberato *et al.*, 2010). Els temporals de vent s'associen a d'altres riscos naturals, com els temporals marí-tims, les inundacions per entrada del mar i l'erosió de la costa. L'estudi de l'efecte que el canvi climàtic pugui tenir sobre els temporals de vent se centra en l'anàlisi de l'evolució del vent i de les situacions meteorològiques favorables perquè es donin temporals forts.

Si bé els huracans no es produeixen al Mediterrani, recentment, en l'àmbit científic, es comença a parlar de «*medicans*» que serien uns sistemes similars als huracans però que es produeixen al Mediterrani i presenten unes característiques pròpies (Homar *et al.*, 2003a; Emanuel, 2005; Fita *et al.*, 2007; Moscatello *et al.*, 2008). Serien molt poc freqüents i per tant es troben entre els riscos de menys impacte a Catalunya. Tanmateix, en l'actualitat s'estan creant bases de dades històriques, per analitzar la seva evolució temporal, i s'ha de tenir molt present si els escenaris futurs i l'augment d'SST, apunten a un augment d'aquests.

Els tornados (i les trombes marines) són més usuals que els *medicans* i causen importants destrosses materials, malgrat que a Espanya usualment no superen la força 2 (Roebber *et al.*, 2002; Homar *et al.*, 2003; Gayà *et al.*, 2007; Bech *et al.*, 2007). En ocasions acompanyen situacions de fortes pluges o de pedra (Ramis *et al.*, 1997, 1999). L'anàlisi de l'impacte del canvi climàtic sobre ells els ha de considerar directament, i és molt complex. En els darrers anys hi ha hagut un augment de la percepció i de l'interès sobre aquests fenòmens (els «caçadors de tornados») que pot alterar les conclusions sobre la seva evolució. Recentment s'han començat a estudiar els «derechos» a Catalunya, que són temporals de vent generalitzats, que es desplacen a gran velocitat, amb l'aspecte d'un mur de vent que es mougués i al seu pas arribés a afectar àrees de milers de quilòmetres de llarg i un centenar d'ample.

7.3.4.1. Zones de major afectació

La figura 20 mostra les comarques més afectades per tornados en el període 1994-2008 (Morales *et al.*, 2009), destacant la costa i particularment les zones més poblades. Això seria un indicador, més que de la freqüència dels tornados, de la seva percepció i del seu grau d'impacte. S'ha de dir que moltes vegades es confonen tornados, esclafits i fins i tot mànegues, cosa que dificulta disposar d'una bona base de dades. De mitjana, i per a aquest període, hi ha uns 4 tornados/any, 5,7 mànegues i uns 3,8 esclafits. La majoria dels tornados no arriben a ser F-2, i en el període 1994-2000 no hi ha hagut cap cas que superés la força F-2.



Figura 20. Distribució de les zones afectades per tornados des de 1994 (Morales *et al.*, 2009).

7.3.4.2. Tendències observades a Catalunya

Existeixen nombrosos estudis sobre temporals de vent al centre i al nord d'Europa, del seguiment de les depressions o ciclons amb els que van associats i de les seves trajectòries (Alexanderson *et al.*, 1998; Wang *et al.*, 2009; Ulbrich *et al.*, 2009; Della Marta i Pinto, 2010). Alguns d'aquests estudis mostren un cert augment en la freqüència d'aquests esdeveniments en algunes regions i disminució a d'altres (Kunz *et al.*, 2010). Pel que respecta a estudis de períodes molt llargs, és possible disposar d'informació de temporals de mar i huracans a partir dels quaderns dels vaixells (García *et al.*, 1999; García i García-Herrera, 2003), a més d'altres estudis recents basats en la utilització de sèries de pressió com a «proxy data» per obtenir l'evolució de l'activitat de tem-

pesta (Krueger i VonStorch, 2010). Tanmateix, a nivell espanyol i, més encara, referit a Catalunya, existeixen pocs estudis (Prohom, 2002). L'estudi de Rasilla i García Cerdón (2010), referit a la costa cantàbrica, que relaciona els temporals de mar i els huracans amb la circulació de la NAO, i que utilitza uns índexs proxy per fer l'anàlisi des de 1949, obté una variació menyspreable.

L'evolució dels tornados a Catalunya en els darrers 60 anys (Gayà *et al.*, en prep.) mostra com es passa del promig d'1 tornado/any fins al 1980, a 1,4 tornados/any entre 1980 i 2009, amb un increment que referit al període 1995-2009 passa a ser de 5 casos/any (figura 21). Cal dir que en l'any 2005 es van enregistrar 5 casos en l'àrea de Barcelona en un dia, i l'any 2006, es van pro-

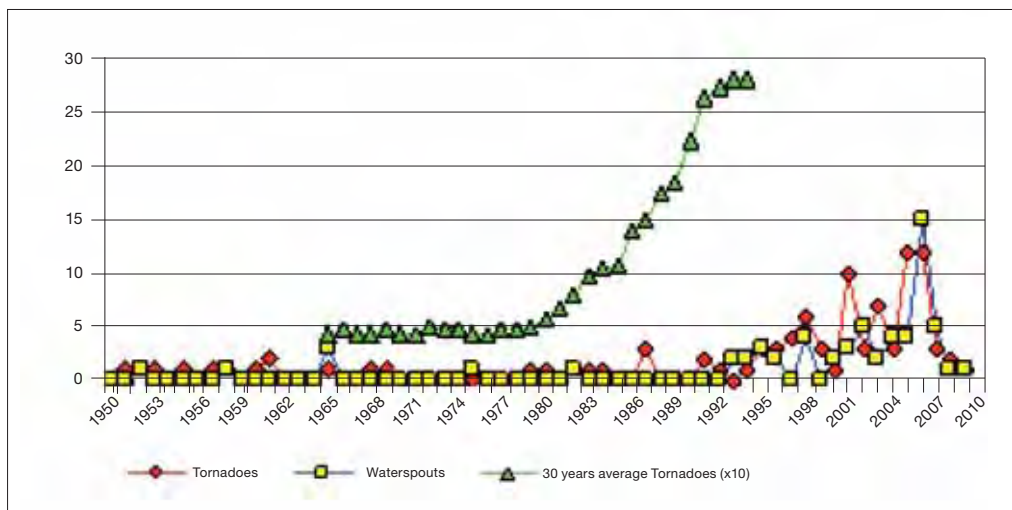


Figura 21. Distribució anual de tornados i trombes marines a Catalunya de 1950 a 2010.

Font: Gayà et al., (en prep).

duir en el mes de setembre simultàniament a un episodi d'inundacions. El fort creixement de l'interès de la població i l'augment d'informació constitueixen un factor de gran pes a l'hora de considerar si aquesta tendència positiva es deu al canvi climàtic. La distribució estacional mostraria una tendència positiva en els mesos compresos entre l'agost i el novembre.

7.3.4.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

Estudis pel centre i el nord d'Europa apunten a un augment dels ciclons associats a tempestes tant per als escenaris A1B i A2, amb un augment potencial de la intensitat i de la seva freqüència (Della Marta i Pinto, 2010), mentre que d'altres conclouen que no hi ha una tendència comuna (Kunz *et al.*, 2010). Bengtsson *et al.* (2009) també apunten a un augment de ciclons al sud d'Europa com el Klaus, que va afectar Catalunya el 24 de gener de 2010. Pel que fa al Mediterrani, Campins *et al.* (2006, 2007) troben que a Catalunya el 64% dels temporals de vent estan relacionats amb la presència simultània d'un cicló o d'un nucli de baixa pressió. Per tant, l'evolució d'aquests serà decisiva en l'evolució futura dels temporals de vent (Nissen *et al.*, en premsa).

Els models actuals no pronostiquen l'evolució dels tornados en els escenaris futurs, sobre-

tot pel que fa a Europa, ni tampoc entren en les tendències dels temporals de vent, cosa que fa que sigui un tema totalment obert a noves investigacions. Una hipòtesi seria que l'augment de la convecció, a causa de l'augment de la temperatura de l'aire i de l'aigua de mar, podria conduir a un augment de tornados, medicanes i temporals de vent, però com ja s'ha comentat en el cas de les pluges fortes, la relació no és lineal.

7.3.5. Pedra, calamarsa i tempestes elèctriques

Es tracta de riscos d'origen exclusivament meteorològic. En la meteorologia es consideren com a temps sever. En algunes comarques de Catalunya constitueixen el risc més important. La pedra sempre va associada al desenvolupament de núvols convectius, usualment de gran extensió vertical, motiu pel qual va també usualment associada a un fort aparell elèctric. Tanmateix també es poden produir llamps amb tempestes que comportin pluges o sense precipitació, o en els núvols que creen els grans incendis forestals. A la vegada un nombre considerable d'incendis forestals són iniciats per llamps.

7.3.5.1. Zones de major afectació

Les calamarsades es poden enregistrar en qualsevol punt de Catalunya, si bé la zona més afec-

tada per les pedregades és la vall de l'Ebre (figura 22), fet que també està vinculat a la seva elevada vulnerabilitat agrícola, sobretot els fruiters del Segrià i els conreus del Delta de l'Ebre (Pascual, 2000; Bernal, 2008, Ceperuelo *et al.*, 2009), i, en segon lloc, les comarques de la costa. En aquest darrer cas se sol tractar d'episodis molt convectius que produeixen simultàniament pedra i pluja. El període més important de pedregades és el comprès entre els mesos de maig i setembre, amb màxims a l'estiu.

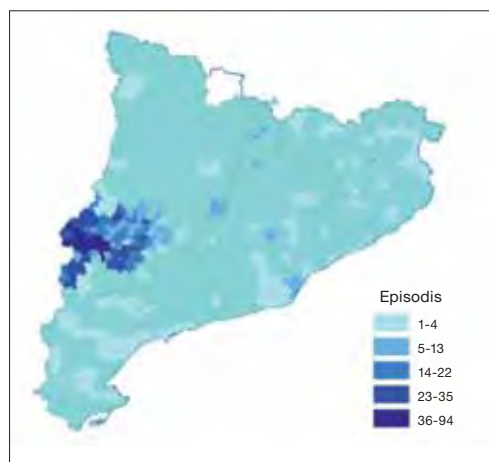


Figura 22. Episodis de pedra per municipi a Catalunya de 1996 a 2007.

Font: Bernal, 2008.

7.3.5.2. Tendències observades a Catalunya

En els darrers 20 anys s'ha observat un augment de les indemnitzacions per pedregades a Catalunya (Merino, 2009), que estaria relacionat, en part, amb un augment del nombre de dies de pedregada a Lleida i de la seva intensitat màxima, si bé es tracta d'un augment que no és estadísticament significatiu (figura 23). L'anàlisi de la seva evolució per categories i relativa a tot Catalunya mostra un augment de la categoria A1 de l'ANELFA (figura 24), que comprèn aquells casos en què els diàmetres es troben entre 1 cm i 2 cm i poden produir danys a vinyes i horta, però que no es considera pedra severa (Boschoms, 2008). Pel que fa als llamps no s'ha detectat cap tendència, sobretot per la manca de sèries llargues o la seva heterogeneïtat. Com en el cas dels tornados, els temporals de vent i els *medicans*, encara es requereix molta investigació, sobretot per la manca de sèries llargues i la introducció de tecnologies més o menys recents en la seva detecció i seguiment (radar, detectors de llamps, etc.).

7.3.5.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

El coneixement de la seva evolució requereix aprofundir en el coneixement de la tendència dels núvols d'origen convectiu, i, particular-

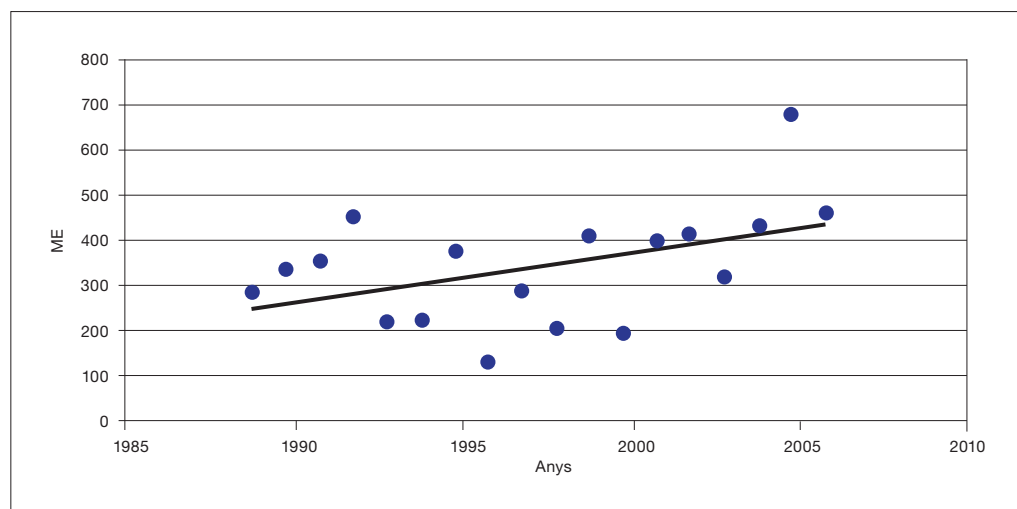


Figura 23. Evolució de les indemnitzacions per pedregades.

Font: Merino, 2009.

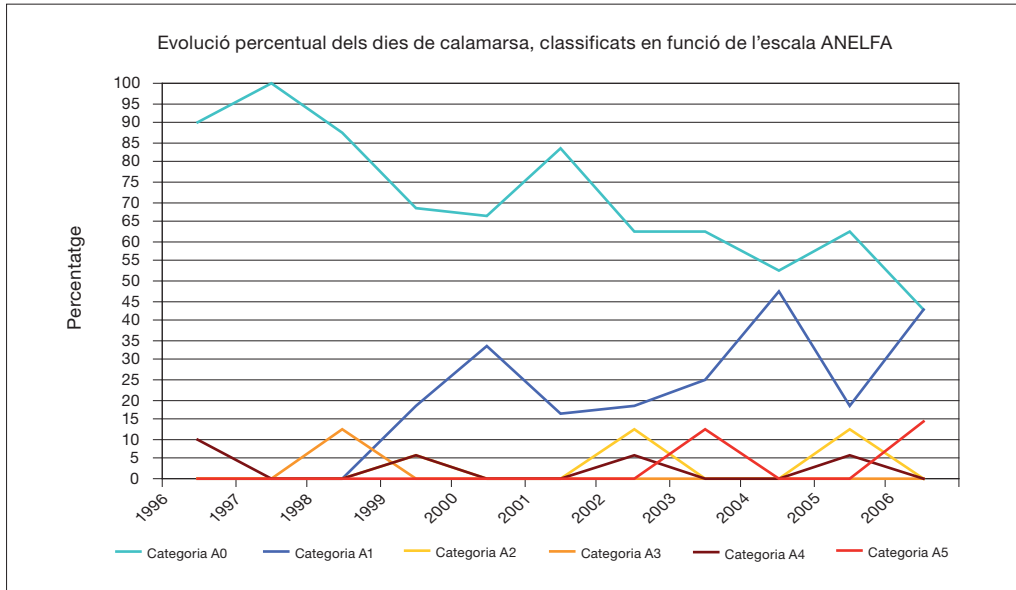


Figura 24. Evolució del nombre de dies de calamarsa a Catalunya (Boshoms, 2008).

ment, de les situacions associades a temps sever. Les pedregades tenen molts aspectes en comú amb les situacions que produeixen pluges intenses, i, per tant, es podria suposar que les tendències futures podrien ser similars, si be atinent a les variacions estacionals. Actualment encara s'està treballant bastant en obtenir els factors discriminants que ajudin a distingir i discriminar les situacions favorables a pedra de les favorables a pluges intenses (Sánchez *et al.*, 2003; Arán *et al.*, 2007; López *et al.*, 2007; Ceperuelo *et al.*, 2009).

Hi ha estudis que relacionen la capacitat de generació de pedregades amb la temperatura mínima diària (Dessens, 1995; Merino, 2009; Merino *et al.*, en prep.). Si fos així, un augment d'aquestes, tal com està pronosticat o com ja s'està detectant, comportaria un augment de les pedregades severes.

7.3.6. Onades de calor i altes temperatures

Es tracta d'un risc d'origen exclusivament meteorològic, i un dels que hi ha menys incerteses sobre el seu augment a conseqüència del canvi climàtic, i en el qual hi ha un consens més gran, com ja s'ha vist en el punt 2 d'aquest capítol. Pel que fa a les onades de calor, es tracta d'un tipus

de risc que malgrat no ser recent, ha adquirit una importància notable precisament per la seva vinculació amb el canvi climàtic, i per tant, encara existeixen nombroses discussions sobre la seva definició. En efecte, hi ha qui defineix com a ona de calor aquelles situacions en les quals les temperatures superen entre 5 °C i 9 °C per sobre de les temperatures mitjanes diürnes i nocturnes durant un mínim de 3 dies (per exemple), o qui posa la condició que les temperatures han d'estar per sobre del percentil del 95% o del 99% durant un cert nombre de dies seguits. Per exemple, Kuglitsch *et al.* (2010) defineixen l'onada de calor com un període de tres dies o més i nits consecutius en què les temperatures màximes i mínimes superen el percentil del 95% dels valors propis de l'estació d'estiu, és a dir, del període comprès entre juny i setembre.

Les onades de calor van adquirir una importància notable arran de l'estiu de 2003 (López Bonillo, 2004; Schär *et al.*, 2004), i el mateix IPCC (2007) va relacionar aquest episodi amb el canvi climàtic. Tanmateix no es tracta d'un dels riscos més freqüents a Catalunya, si més no, fins ara. El seu impacte directe és sobre la salut i, en menor grau, les connotacions de demanda energètica que comporta. Tots els escenaris apunten

a un increment d'aquest risc, tant pel que respecta a la vulnerabilitat (l'augment de la població més vulnerable) com a la seva perillositat (l'augment de la seva freqüència). D'acord amb aquest consens, així com amb l'ample tractament de l'evolució de la temperatura en altres capítols d'aquest informe, en aquest capítol no entrarem en una discussió tan exhaustiva com ha estat feta per la precipitació, si bé sí que es proveeix el lector d'una abundant bibliografia de referència.

7.3.6.1. Zones de major afectació

Totes les zones són susceptibles de patir onades de calor, si bé les que poden ser més afectades són les comarques de l'interior situades a les valls, atès que els models apunten a un augment de temperatura més alt cap a l'interior. Tanmateix s'ha d'afegir el factor humitat, ja que com més alta és, més gran és la sensació de calor que es té. Sigui com sigui és necessari disposar d'escenaris regionals més acurats per poder comentar com serà aquesta distribució espacial.

7.3.6.2. Tendències observades a Catalunya

Atenent a les diferents definicions d'ona de calor, les tendències futures i passades poden ser totalment diferents quant a la seva distribució geogràfica. És per això que de moment es tracta principalment amb índexs climàtics associats a temperatures màximes, mínimes i mitjanes.

Una primera anàlisi de l'evolució de les temperatures màximes es pot fer a partir dels índexs que s'hi associen i que es calculen per les sèries més llargues de Catalunya, l'Observatori Fabra a Barcelona (des de 1913) i l'Observatori de l'Ebre a Tortosa (des de 1905), d'una forma similar a com s'ha procedit amb la precipitació (Cunillera, 2009). En aquest sentit, l'evolució dels índexs climàtics relatius al nombre de dies d'estiu (temperatura màxima major a 25 °C; SU25), a les nits tropicals (temperatura mínima superior a 20 °C, TR20), als valors màxims de les temperatures màximes i mínimes diàries (TXx, TNx), al percentatge de dies en què màximes o mínimes es troben per sobre del percentil 90 (TX90p, TN90p), al nombre de dies en un any en què, com a mínim, hi ha 6 dies consecutius amb màxima per sobre del percentil 90 (WSDI), i a l'am-

plitud tèrmica anual (DTR), presenten un augment estadísticament significatiu (amb un nivell de confiança igual o superior al 95%) en ambdós observatoris.

L'anàlisi de l'evolució regional a partir de la base de dades E-OBS (Haylock *et al.*, 2008; Hofstra *et al.*, 2009a, 2009b), que ofereix dades de temperatura interpolades per una malla de 25 km × 25 km, permet analitzar l'evolució dels índexs anteriors per tot Catalunya, del període 1950-2008. A la figura 25 s'aprecia una tendència positiva superior al 3%/dècada en el percentatge de nits molt càlides (índex TN90p) en tot Catalunya, amb una significació del 100%. L'evolució del valor mitjà d'aquest índex per tot el país mostra una tendència positiva del 5% / década, així com l'augment extraordinari experimentat des de la dècada dels vuitanta, després de la petita oscil·lació de temperatura que es va produir a la dècada dels setanta (figura 26). Aquesta darrera tendència així com totes les que es comenten a continuació, relatives a l'índex mitjà de Catalunya, té una significació del 95%. Paral·lelament, l'índex TX90p, relatiu a dies molt càlids, mostra un augment del 4%/dècada, sent molt més marcat a les comarques del Baix Ebre i el Montsià. Una distribució pràcticament igual es troba en l'evolució de la temperatura màxima de les mínimes diàries (TNx), apuntant, de mit-

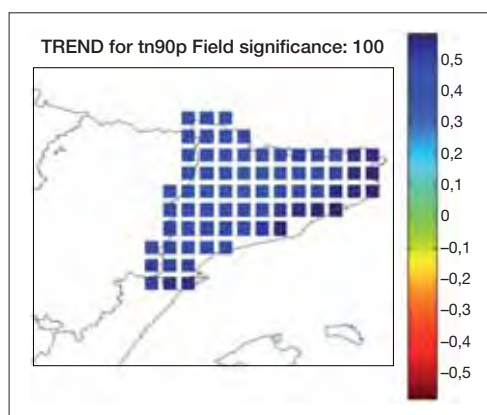


Figura 25. Evolució de l'índex TN90p (percentatge de dies per any en què la temperatura mínima nocturna ha estat per sobre del percentil 90) a tot Catalunya, a partir de les dades E-OBS, en el període 1950-2008. S'observa una tendència positiva superior al 0,3% a totes les regions, amb una significància del 100%.

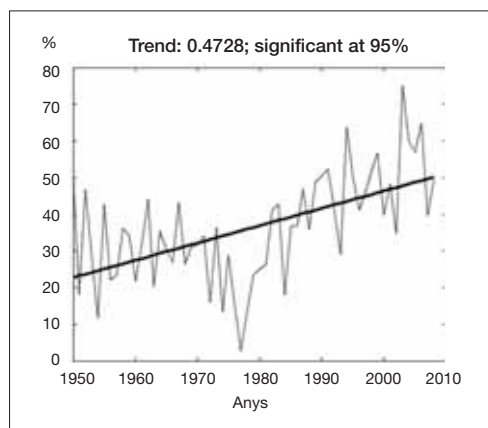


Figura 26. Evolució de l'índex TN90p (percentatge de dies per any en què la temperatura mínima nocturna ha estat per sobre del percentil 90) calculat com a mitjana per tota Catalunya, a partir de la mitjana d'aquest índex per tots els píxels, en base a les dades E-OBS, en el període 1950-2008. S'observa una tendència positiva propera al 0,5% amb una significància del 95%.

jana, a un augment de $0,3^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$, en tant que l'evolució de la temperatura màxima de les màximes diàries (TXx) mostra un augment encara més gran, de $0,4^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$. El nombre de nits tropicals (TR20) creix acceleradament des dels 80, amb una tendència que de mitjana és per tot Catalunya de $1,7$ dies/dècada (figura 27), però

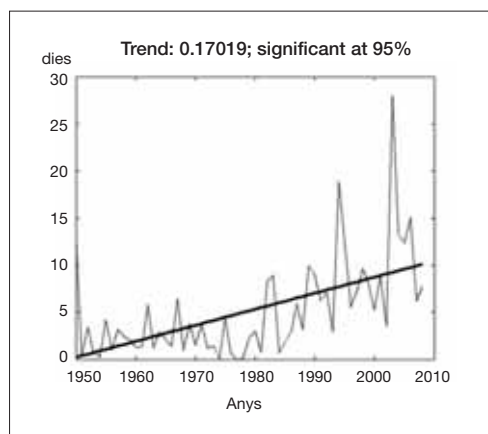


Figura 27. Evolució de l'índex TR20 (nombre de dies per any en què la temperatura mínima ha estat per sobre dels 20°C) calculat com a mitja per tota Catalunya, a partir de la mitjana d'aquest índex per tots els píxels, en base a les dades E-OBS, pel període 1950-2008. S'observa una tendència positiva propera a $0,2$ dies/any, amb una significància del 95%.

que en la costa pot arribar a 5 dies/dècada (figura 28) mentre que a les comarques pirinenques (principalment la Vall d'Aran, el Pallars, la Cerdanya i l'Alt Urgell) la tendència és pràcticament nul·la. Molt similar a l'evolució de TR20, tant regional com mitjana, és l'evolució del nombre de dies consecutius per any amb temperatures màximes superiors a 25°C (WSDI), amb una tendència mitjana de $1,9$ dies/dècada, mentre que el nombre de dies que superen aquest llindar de temperatura (SU25) presenta una tendència de $2,7$ dies/dècada, si bé en les comarques pirinenques no s'observa cap tendència significativa (figura 29).

7.3.6.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

Com ja hem dit, en aquest cas hi ha coincidència entre tots els escenaris i models en apuntar a un augment de la freqüència de les onades de calor i altes temperatures, cosa que implica un augment de la perillositat. Schär *et al.* (2004) demostren que el clima de l'estiu pot patir a Europa un canvi pronunciat en la variabilitat d'un any per un altre com a resposta al forçament de l'efecte hivernacle, podent arribar a ocórrer freqüentment en un futur successos com el de 2003. Dins del projecte PRUDENCE, Beniston *et al.* (2007) obtenen un augment futur de la freqüència, la magnitud i la duració de les onades

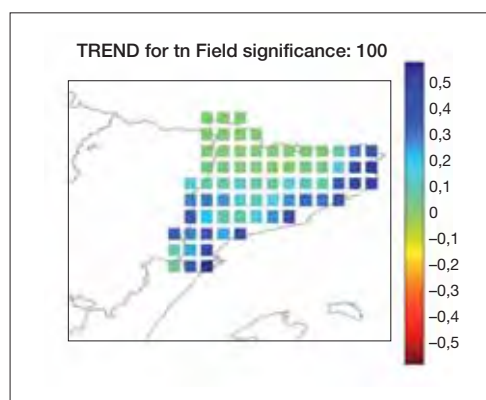


Figura 28. Evolució de l'índex TR20 (nombre de dies per any en què la temperatura mínima ha estat per sobre dels 20°C) per tota Catalunya, a partir de les dades E-OBS, pel període 1950-2008. S'observa una tendència positiva superior al $0,2\%$ a totes les comarques excepte les pirinenques, amb una significància del 100%.

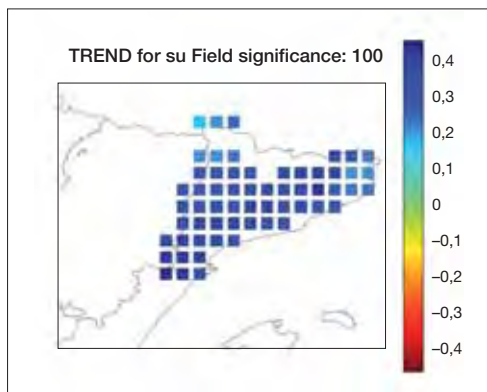


Figura 29. Evolució de l'índex SU25 (nombre de dies per any amb temperatures màximes superiors a 25°C) a tot Catalunya, a partir de les dades E-OBS, en el període 1950-2008. S'observa una tendència positiva superior al 0,2% a gairebé totes les comarques, amb una significància del 100%. En el cas d'algunes comarques pirinenques la tendència no és significativa.

de calor, a l'estiu i a Europa a causa de l'escalfament superficial regional, resultats que també obté, entre d'altres, Meehl *et al.* (2004). Respecte a les denominades «onades o períodes de calor d'hivern», que, entre d'altres, poden induir a la fusió de la neu, reforçant els diferents riscos típics de regions de muntanya, Beniston *et al.* (2005) troben que en un escenari futur de canvi climàtic (+4 °C), aquestes onades de calor augmentarien un 30% i com que ho lliguen a un augment dels anticiclons persistents lligats a la fase positiva de la NAO (Oscil·lació de l'Atlàntic Nord), aquesta es podria considerar com un predictor empíric d'aquestes onades.

Atenent als resultats mostrats en el capítol 3 de la part 1, les temperatures màximes poden augmentar entre 2,1 °C (escenari B2) i 5,6 °C (escenari A1) en el període 2071-2100, en comparació amb el de 1961-1990.

A aquest augment s'ha afegit un augment de la vulnerabilitat. En efecte, la comunitat més afectada per les onades de calor està constituïda per la gent gran, com ja es va veure a les estadístiques de l'estiu de 2003. A Catalunya, i de fet a tot Europa, es preveu un augment de l'edat mitjana de la població i, particularment un augment de la població per sobre dels 65 anys, que són els més vulnerables. Aquest augment, unit a la distribució geogràfica d'aquesta població i als mitjans als quals

puguin tenir accés per afrontar situacions com aquesta, o d'una forma més general, la resiliència, serà definitiu en la distribució del risc futur.

7.3.7. Onades de fred i gelades

Les onades de fred constitueixen un risc d'origen exclusivament meteorològic que és molt important a alguns països d'Europa però molt menys en el Mediterrani occidental. El seu impacte directe és sobre la salut i, en menor grau, les connotacions de demanda energètica que comporta. A diferència de les onades de calor les víctimes mortals solen ser indigents. Requereix l'estudi de l'evolució de les temperatures sobretot a l'hivern. Pel que fa a les gelades, pot ser que estiguin vinculades a una onada de fred, a una entrada d'aire fred o a un refredament radiatiu nocturn. Són particularment perjudicials per a l'agricultura. Depenen de les temperatures mínimes i quan són més perilloses és a finals d'hivern i a la primavera.

7.3.7.1. Zones de major afectació

Totes les zones són susceptibles de patir onades de fred i gelades, si bé les que més ho poden ser les comarques de l'interior, les zones depressionàries i les comarques de muntanya. Tanmateix, el risc canvia molt d'una zona a l'altra, ja que la vulnerabilitat es troba fortament vinculada a l'agricultura.

7.3.7.2. Tendències observades a Catalunya

L'evolució de tots els índexs climàtics relatius al nombre de dies freds i gelades presenten una disminució estadísticament significativa, tant a l'Observatori de l'Ebre com a l'Observatori Fabra (Cunillera, 2009). El percentatge de dies en què la temperatura nocturna està per sota del percentil 10, mostra una tendència negativa amb significació >96% en els Pirineus i els Prepirineus (figura 30), i la mitjana per tot Catalunya és del -2,1%/dècada amb una significació del 95%. El valor mínim de la temperatura mínima diària (TNn) i del nombre de dies de gelada (FD) mostra una distribució regional molt semblant, amb una significació del 100% en els Pirineus, però amb valors que com a màxim són de 0,6 °C/dècada i de 6 dies/dècada, respectivament, mentre que la tendència és de -0,26 °C/dècada i de -1,9 dies/dècada (figura 31) de mitjana. El nombre de

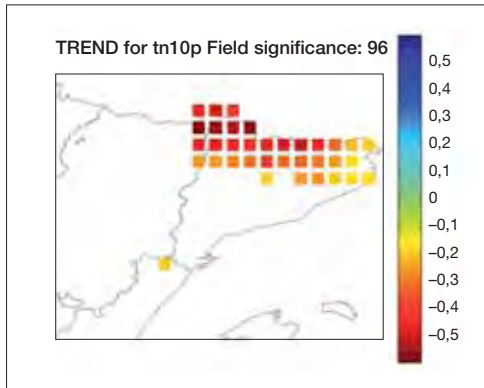


Figura 30. Distribució regional de les tendències més significatives (significància >96%) en la disminució del nombre de nits fredes (Tn10).

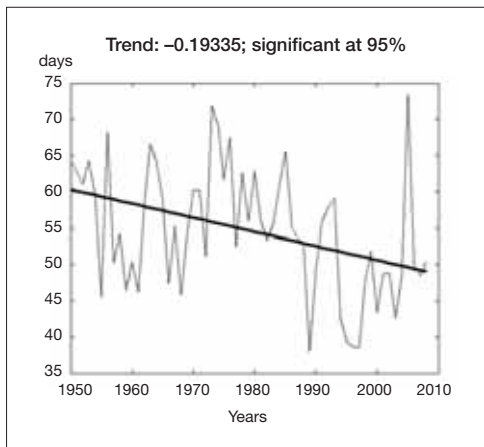


Figura 31. Tendència mitjana a Catalunya, del nombre de dies de gelada (FD), calculat a partir de la mitjana d'aquest índex per tots els píxels, en base a les dades E-OBS, en el període 1950-2008. S'observa una tendència negativa propera a -0,2 dies/any, amb una significància del 95%.

dies consecutius per any amb temperatures inferiors a 0 °C (CSDI) també mostra una tendència negativa, que és de -1,2 dies/dècada de mitjana, valor que regionalment està molt més marcat en els Pirineus, però que s'estén també a d'altres comarques properes a la costa i a la Depressió Central Catalana (figura 32). Finalment, el nombre de dies freds, és a dir, aquells en què la temperatura màxima està per sota del percentil 10 (TX10p), presenta una disminució de l'-1,6%/dècada (95% de significació), però amb una distribució regional totalment diferent de l'anterior, amb màxims a la conca del Segre (figura 33).

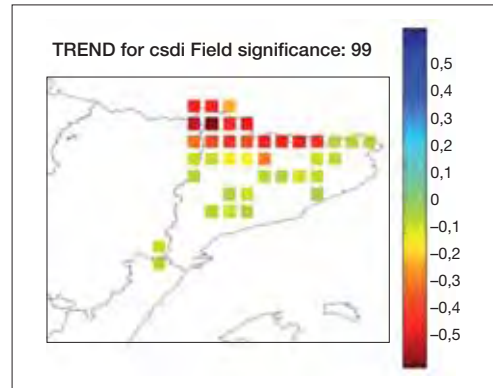


Figura 32. Distribució regional de les tendències més significatives (significància >99%) en la disminució del nombre de dies consecutius amb temperatures mínimes per sota de 0 °C (CSDI).

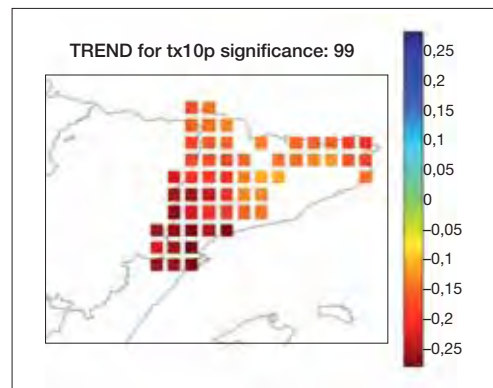


Figura 33. Distribució regional de les tendències més significatives (significància >99%) en la disminució del percentatge anual de dies amb temperatures per sota del percentil 10 (TX10p).

7.3.7.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

En aquest cas hi ha coincidència entre tots els escenaris i models en apuntar una disminució de la freqüència de les onades de fred i del nombre de dies de gelada. El problema és que l'avançament del període de floració pot comportar una vulnerabilitat més alta enfront de les gelades de finals de tardor i principis de primavera. La disminució del nombre d'hores-fred i del període fred tindrà conseqüències importants a l'agricultura. Atenent als canvis comentats a les temperatures màximes, es constata una

disminució en l'oscil·lació diürna de temperatura, sobretot als Pirineus, que atenent als escenaris serà molt més marcada en el futur. Atenent als resultats mostrats en el capítol 3, les temperatures mínimes poden augmentar entre 2 °C (escenari B2) i 5 °C (escenari A1) en el període 2071-2100, en comparació amb el període 1961-1990.

7.3.8. Temporals de neu i allaus

Les allaus són processos característics de les zones d'alta muntanya de Catalunya i, particularment dels Pirineus. Són el resultat de la desestabilització del mantell nival que s'ha acumulat als vessants directament com a conseqüència de les nevades, l'acció del vent o el pas de persones. En la neu recent, l'allau es produeix per la desestabilització de la capa superficial a causa d'una sobrecàrrega i/o d'un augment de la temperatura. Si hi ha discontinuïtats al mantell nival, és freqüent la desestabilització de les capes superiors, que de vegades formen cornises, donant lloc a les allaus en placa. Si la temperatura de l'aire augmenta molt per sobre dels 0 °C o en el cas de pluja, es donen les allaus per fusió.

Aquest tipus de fenomen característic de regions de muntanya s'ha analitzat sobretot per a la zona dels Alps, on es posa de manifest la sensibilitat de l'activitat de les allaus enfront del canvi climàtic, si bé la resposta no seria la mateixa si ens referim a allaus de tipus humit o sec (Jomelli *et al.*, 2006; Demirdijan, 2004). Tanmateix, en aquesta regió no s'ha detectat encara un canvi en la probabilitat d'ocurrència d'allaus catastròfiques (Ancey, 2005; Bader i Kunz, 2000). Aparentment el clima no ha canviat suficientment per produir un canvi en l'activitat d'allaus i les mesures de protecció poden contrarrestar-ne l'efecte. Una variació de la temperatura mitjana d'1 °C a 2 °C i de la precipitació en un 10-20% no hauria d'influir en l'activitat d'allaus en els Alps suïssos. Fins i tot un augment de temperatures podria escurçar l'estació en què es produeixen. Paral·lelament, aquest augment de temperatures o l'augment d'onades de calor d'hivern (Beniston *et al.*, 2005) podria augmentar el nombre d'allaus per fusió. Sense oblidar l'important influx del vent i de la precipitació, que en un suposat augment a l'hivern tal com prediuen els es-

cenaris al centre d'Europa produiria un augment d'allaus (Seiler, 2006).

En analitzar el nombre d'accidents als Pirineus catalans en funció del tipus d'allau, segons les dades de l'Institut Geològic de Catalunya (IGC), s'observa que el 5% són deguts a allaus de neu recent, el 80% a allaus de placa i el 7% a les allaus de fusió o neu humida. Les allaus de neu recent sovint són de grans dimensions, amb una forta pressió d'impacte i desencadenades per factors naturals. Les allaus de placa afecten esquiadors i muntanyencs, i la gran majoria són desencadenades per les mateixes víctimes en travessar-les.

Un fenomen associat a les nevades i el vent és el torb. Es tracta d'un temporal de vent del nord, molt fred, que arrossega neu en pols tot limitant fortament la visibilitat. El torb constitueix un gran perill per als excursionistes i ha estat causa d'accidents com els de gener de 2001 on van perdre la vida nou excursionistes als voltants del Balandrau o el més recent, del novembre de 2009, en què van morir dues germanes en baixar del Puigmal.

Un altre fenomen en aquesta línia serien les nevades intenses a cotes baixes, agreujades per les baixes temperatures, com serien les que es van produir a la Catalunya central el desembre de 2001, o per temporals de neu molt humida, com seria el recent episodi de nevades del 8 de març de 2010, amb danys ecològics i socials greus. Tanmateix, no hi ha encara estudis específics sobre la seva variació deguda al canvi climàtic.

7.3.8.1. Zones de major afectació

Les allaus afecten una part relativament petita del territori català, fonamentalment els Pirineus axials i els Prepirineus. Fora d'aquí, només el massís del Montseny pot ser considerat d'una certa susceptibilitat, si bé és baixa (figura 34). Les zones sensibles són els vessants i les fondalades de les capçaleres dels principals cursos fluvials i els seus afluents. Rarament les allaus arriben a les zones habitades, per bé que històricament diverses poblacions de la Vall d'Aran, l'Alta Ribagorça i els Pallars n'han patit les conseqüències alguna vegada. Aquest és el cas de Senet (Alta Ribagorça), Bossost (Vall d'Aran) i Tavascan (Pallars Sobirà). L'esdeveniment més ca-

tastròfic documentat va tenir lloc l'abril de 1855 a Casagnau, Unha i Bagergue (Vall d'Aran) amb unes 58 cases destruïdes i 60 morts (García-Sellés *et al.* 2005; Copons, 2008). Més recentment, el 27 de gener de 2003, una allau va provocar desperfectes a les primeres fileres de cases de la Pleta de Vaquèira.

Les zones susceptibles de generar allaus i les àrees potencialment afectades s'han cartografiat i estan recollides en un conjunt de mapes que es poden consultar i descarregar en format digital a la pàgina web de l'IGC (http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/igc/igc_categ.html#allaus).

7.3.8.2. Tendències observades a Catalunya

La base de dades de l'IGC recull una relació completa d'allaus dels darrers 24 anys i també es pot trobar més informació sobre l'evolució del nombre i la magnitud de les allaus als Pirineus, la relació de l'activitat d'allaus i l'efecte sobre les allaus a Catalunya, a Furdada Bellavista (2006), Oller *et al.* (2006) i a l'informe RISKCAT (Vilaplana i Payàs, 2008). No s'observa però cap tendència clara pel que fa al nombre i a la magnitud de les allaus. Pel que fa a les seves conseqüències, les dades de la figura 35 mostren un aug-

ment progressiu del nombre de persones arrossegades, víctimes mortals i ferits al llarg de les darreres dècades. Així, entre el 1986-87 i el 2009-2010, van morir 35 persones i 61 van quedar ferides com a conseqüència directa de les allaus als Pirineus catalans, això fa una mitjana anual de 1,5 morts i 2,7 ferits. Als darrers 10 anys aquestes xifres augmenten fins a 2 morts i 2,9 ferits.

Les dades de la figura 35 requereixen una explicació ja que el nombre d'afectats no es pot relacionar amb l'activitat allavosa natural però sí, en canvi, amb una freqüentació més alta dels indrets perillosos. A la pràctica habitual de l'esquí alpí dins els dominis esquiables delimitats, s'hi ha d'afegir la pràctica del fora pista, l'esquí de muntanya i les tradicionals travesses de muntanya hivernal. És significatiu el fet que el 90% de les allaus que han causat accidents han estat desencadenades per les mateixes víctimes (Martínez i Oller, 2004). A l'esmentat estudi s'indica també que un 85% de víctimes mortals no anaven equipades amb equips detectors de víctimes (ARVA).

Finalment cal dir que no s'ha detectat cap canvi significatiu en la producció de nevades a cotes baixes i a la costa, en part perquè encara són necessaris més estudis en què es disposi de

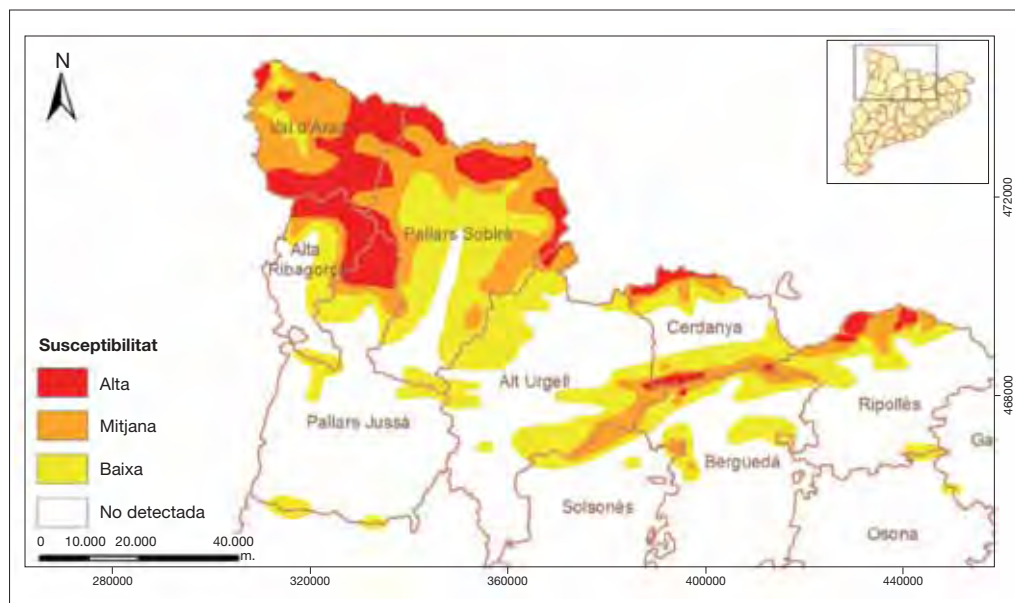


Figura 34. Zones susceptibles de generar allaus a Catalunya.
Font: Copons, 2008.

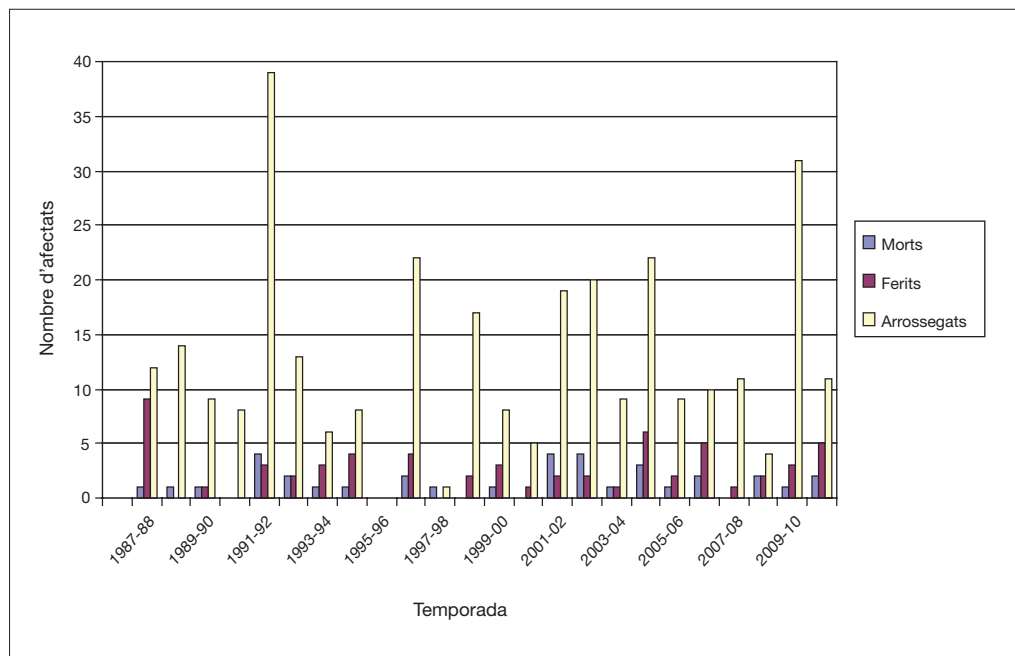


Figura 35. Nombre d'afectats per allaus de neu a Catalunya entre les temporades 1986-87 i 2009-10. D'aquesta darrera les dades corresponen fins al mes de març de 2010. No es disposa de dades de la temporada 1995-96. Dades obtingudes del lloc web de l'IGC (http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/allaus/igc_allaus_accidents.html), de l'ACNA (www.acna.cat) i premsa escrita.

sèries llargues. El darrer episodi de nevades intenses unides a tempestes que es va produir el 8 de març de 2010, si bé excepcional, a hores d'ara no es pot considerar una conseqüència del canvi climàtic.

7.3.8.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

Les nevades depenen exclusivament de factors meteorològics i, per tant la influència del canvi climàtic és directa. L'augment de temperatures mínimes farà desplaçar l'alçada del mantell nival a cotes més elevades i reduir la seva superfície al conjunt dels Pirineus. Els estudis de Peña *et al.* (2006) i de García-Sellés *et al.* (2009a, 2009b) analitzant la relació amb la circulació general i, particularment amb l'índex NAO, fet que permet derivar part de la seva possible evolució futura, de l'evolució d'aquest índex, si bé en un grau similar a com podria ser la dependència que tingui la precipitació, la temperatura i el vent. Un recent estudi de López-Moreno *et al.* (2009b) mostra que

segons el model HIRHAM el gruix de la neu i la duració de la coberta nival als Pirineus disminuirà dramàticament. La magnitud d'aquests canvis seguirà un gradient altitudinal, amb decreixements del 78% en l'equivalent d'aigua acumulada i del 70% en la cobertura nival, a altituds de 1.500 m sobre el nivell del mar, i considerablement inferiors a altituds superiors, de tal forma que en els punts més alts no s'espera pràcticament cap canvi. Pel que fa a la precipitació no es poden concloure encara canvis significatius als Pirineus a l'hivern, com ja s'ha comentat en els apartats corresponents a precipitacions extremes i a sequeres, motiu pel qual no es preveu una variació en el nombre d'episodis allavosos de gran magnitud. En tot cas, la disminució potencial de precipitació a la primavera podria disminuir el perill d'allaus, si bé estem parlant d'una precipitació mitjana, i per tant, més difícil d'associar a les allaus.

Tanmateix en el conjunt del risc d'allaus és necessari també considerar els canvis en els ecosistemes pirinencs i en l'estabilitat dels vessants i el fet

que la disminució de neu en cotes baixes disminuiria el perill que les allaus arribessin al fons de les valls, provocant tal vegada una pèrdua de memòria històrica i, conseqüentment una exposició més gran (Furdada Bellavista, 2006). Si el nombre de practicants d'esports de muntanya hivernal continua creixent, caldrà esperar doncs un major nombre d'afectats per les allaus. Des del punt de vista socioeconòmic, l'augment de la temperatura i les cotes d'innivació podria retardar l'inici de la temporada hivernal, fet que suposaria pèrdues pel turisme durant el període de Nadal i Any Nou.

7.3.9. Esllavissades, desprendiments i caigudes de pedres

Es tracta d'un risc geològic, usualment d'origen hidrometeorològic, però també amb altres orígens possibles. Les esllavissades són desplaçaments de masses rocoses o de terres en un vessant o desmunt, per l'acció de la gravetat. Normalment es desencadenen per la infiltració d'aigua de pluja, sacsejades sísmiques o l'erosió de la base del vessant. Les intervencions antròpiques com les excavacions, les sobrecàrregues, les tales forestals i altres actuacions poden des-

estabilitzar els desmunts i el vessants sencers. Segons els mecanismes de propagació, les esllavissades es classifiquen en desprendiments, bolcades, lliscaments, fluxos i moviments complexos. A diferència d'altres perills naturals, les esllavissades ocorren de manera dispersa pel territori, especialment en zones muntanyoses i poc poblades. No obstant això, l'expansió continuada de les zones urbanes, la construcció de noves infraestructures i una freqüentació més alta dels indrets perillosos, fa que el risc hagi augmentat de manera significativa les darreres dècades. Mostra d'això és l'augment progressiu durant les darreres dècades del nombre de víctimes mortals (figura 36). Cal tenir present però, que els danys més importants de les esllavissades són els causats en infraestructures de comunicació i els indirectes (per exemple, l'aïllament temporal de poblacions o els desviaments forçats de trànsit). Si bé no hi ha dades oficials, els danys per trencades de desmunts i terraplens sobrepassen de mitjana les desenes de milions d'euros anuals. Els costos indirectes i les molèsties produïts pel tancament del tren cremallera, únic accés a Núria, el març de 2001 i els mesos d'abril i juny de 2003; les

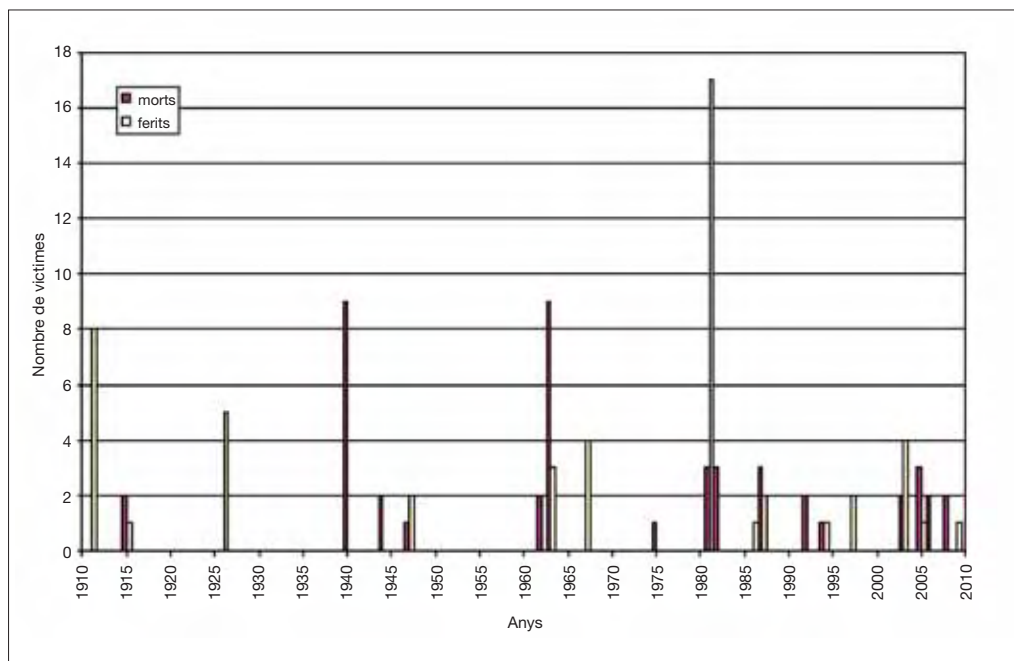


Figura 36. Nombre de ferits i morts per esllavissades i desprendiments de roques en el període 1909-2009.

retencions quilomètriques per l'esllavissament el maig de 2004 del terraplè a l'autopista AP-7 a Viladesens (Gironès); la interrupció de l'accés a Montserrat pels diversos desprendiments el gener de 2007, el novembre i el desembre de 2008, que van deixar aïllat el monestir; o l'esllavissament del desmunt de l'autovia A-2 del març de 2009 a Montmaneu (l'Anoia), són de difícil estimació, però sens dubte, molt elevats.

7.3.9.1. Zones de major afectació

La figura 37 mostra la distribució dels terrenys més susceptibles a produir esllavissades i des-

preniments a Catalunya. La distribució de les esllavissades està controlada per dos elements fonamentals: el relleu i la presència de materials susceptibles (taula 1). També influeix, particularment en els esllavissaments superficials, l'ús del terreny i la vegetació. El règim de pluges, l'erosió i els terratrèmols són, per aquest ordre, els mecanismes desencadenants més freqüents. La Depressió Central Catalana i les planes de l'Empordà són les menys conflictives perquè tenen un relleu eminentment pla. Per contra, les serralades i, especialment, els Pirineus, mostren un major nombre de fenòmens d'inestabilitat

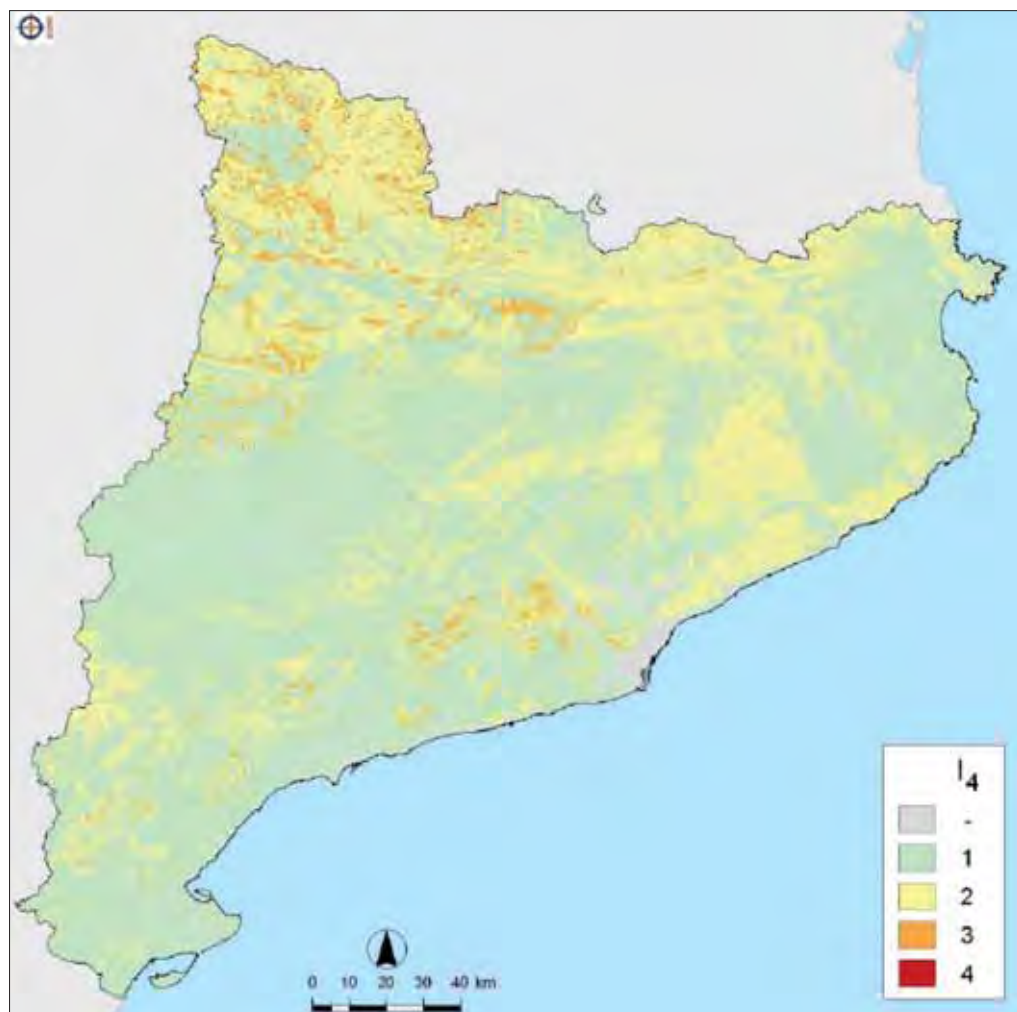


Figura 37. Mapa dels terrenys susceptibles d'esllavissades de Catalunya (modificat de Corominas, a Marull, 2004).

Litologia	Edat	Tipus d'inestabilitat	Sector
Pissarres negres	Silurià	Colades de terres, lliscaments	Pirineus axials, serres costeres
Guixos i argil·lites	Keuper	Colades de terres, lliscaments rotacionals i traslacional	Prepirineus, serres costeres
Alternances de lutites, gresos i lignits (fàcies garumnianes)	Cretàcic superior	Colades de terres, lliscaments rotacionals i traslacional	Prepirineus i Conca de Tremp
Argiles, argiles margoses	Eocè inferior - Lutecià	Colades de terres, lliscaments rotacionals	Prepirineus
Limolites i alternances gresos, limolites i calcàries (fàcies flysch)	Eocè inferior	Colades de terres, lliscaments	Prepirineus
Argiles, llims sorrencs	Miocè	Lliscaments rotacionals, colades de fang	Depressions intramuntanyoses del Vallès-Penedès i la Cerdanya
Grans blocs i graves amb matriu sorrenca-llimosa o argilosa (til glacial)	Pleistocè	Corrents i allaus d'arrossegalls. Lliscaments rotacionals	Pirineus axials
Graves, sorres, llims i argiles (col·luvió)	Pleistocè-Holocè	Lliscaments i corrents d'arrossegalls	Totes les serralades
Basalts	Pleistocè	Despreniments	Zona volcànica d'Olot

Taula 1. Formacions litològiques inestables a Catalunya, tipus de ruptures i la seva distribució geogràfica. Síntesi a partir de les dades de Corominas i Alonso, 1984, i de Corominas, 1985.

afavorits pel relleu jove, la pluviositat i la presència de litologies susceptibles. No obstant això, la naturalesa fonamentalment carbonatada de sectors de les serralades litorals com ara els massissos del Garraf o dels Ports, els confereix una relativa estabilitat, per bé que els despeniments rcosos no hi són aliens. La forta incisió dels cursos fluvials en els terrenys predominantment argilosos que componen les depressions terciàries (el Vallès-Penedès i la Cerdanya), fa que també apareguin fenòmens d'inestabilitat freqüents.

A grans trets es poden distingir tres grans dominis de les esllavissades a Catalunya: *a*) les grans serralades, *b*) les depressions i *c*) els penya-segats costaners.

Grans serralades. Els Pirineus i les serres costeres concentren la major part de les esllavissades a causa del fort relleu, modelat en part per les gelers pleistocenes, l'aflorament de terrenys susceptibles i un règim de pluges favorable, en especial, els temporals de tardor i la presència d'hiverns humits. Entre les formacions litològiques, les pissarres silúriques han donat lloc a

grans moviments de vessant com els de Pardines i Nevà (Ripollès), el Pont de Bar i Arduix (Alt Urgell) o el de barranc de Boès a Llavorsí (Pallars Sobirà), preferentment en forma de lliscaments i colades de terres. També les argil·lites i guixos del Keuper originen lliscaments rotacionals i colades com els del Pont de Suert (Alta Ribagorça). Les fàcies flysch mesozoiques produeixen trencades complexes o lliscaments sobre capes al sector de les Nogueres. Als dipòsits glacials (tils) són freqüents els corrents i les allaus d'arrossegalls. Les trencades d'aquests materials han deixat cicatrius erosives profundes a la Guingueta (Pallars Sobirà), Arties (Vall d'Aran), Senet i Taüll (Alta Ribagorça) o Capdella (Pallars Jussà). Els dipòsits col·luvials que entapissen bona part dels vessants són l'origen de lliscaments superficials i de corrents d'arrossegalls, sent especialment significatius els esdeveniments de l'octubre de 1940 a la conca alta del Ter o els del novembre de 1982 a les capçaleres del Llobregat i del Cardener. Una síntesi dels tipus d'inestabilitat als Pirineus i a la resta de serralades es pot consultar a Corominas i Alonso (1984) i Corominas (1985).

Depressions. Les depressions intramuntanyoses com la conca de Tremp, la Cerdanya i el Vallès-Penedès estan reblertes de formacions detríctiques potents entre les quals es troben paquets d'argiles continentals i marines potents així com nivells de guixos intercalats. La migració dels meandres del cursos fluvials erosiona el peu dels vessants, afavorint la formació de lliscaments traslacionals, rotacionals i colades de terres. Aquests processos s'observen molt bé als marges dels rius Anoia, Llobregat i dels seus afluents com el Lavernó a Sant Sadurní d'Anoia (Anoia), i els relleus de Castellbisbal i Sant Esteve Sesrovires (Baix Llobregat) o d'Ullastrell (Vallès Occidental). Un sector particularment sensible són les conques de Tremp, Dellà i els seus voltants, on apareixen lliscaments generalitzats dels vessants que afecten periòdicament les vies de comunicació i diverses poblacions com Benavent de la Conca, Sant Miquel i Sant Cristòfol de la Vall, Llimiana o Guàrdia de Tremp (Pallars Jussà). La presència de nivells potents de gresos i conglomerats juntament amb la disposició quasi horitzontal dels estrats fa que els relleus de la Depressió Central Catalana mostrin fenòmens inestables de petites dimensions, com ara el despreniment i la bolcada dels marges.

Penya-segats costaners. El sector més afectat és el de la Costa Brava on l'erosió i el descalçament de les parets rocoses afavoreix la formació de lliscaments i despreniments rocosos. Aquests fenòmens són freqüents als camins de ronda i a platges com a Blanes (la Selva), el Cap de Begur i l'Estartit (Baix Empordà), l'Escala i el Cap de Creus (Alt Empordà), que han necessitat diverses actuacions de contenció i protecció.

Pel que fa als impactes també és important considerar l'ocupació urbanística en zones d'alt risc i que s'ha incrementat en les darreres dècades. En aquest sentit, convé esmentar la muntanya de Montjuïc a Barcelona, que ha tingut un tràgic registre de víctimes per despreniments fins que es va procedir a l'estabilització parcial i a la reurbanització de la zona.

7.3.9.2. Tendències observades a Catalunya

L'ocurrència d'esllavissades a Catalunya està vinculada principalment a la precipitació i a les pluges fortes, ja siguin molt intenses o molt

abundants. En conseqüència, les estacions més importants són la tardor i la primavera, però no es poden oblidar l'hivern i l'estiu. Malauradament es disposen ben pocs registres històrics d'esllavissades a Catalunya. El motiu, com s'ha dit, és el caràcter puntual de les trencades en zones poc habitades de muntanya, que fa que passin desapercebudes, i també es deu al fet que sovint els seus efectes s'han tractat de manera indiscriminada com si fossin deguts a aiguats i inundacions. Pel que fa a la distribució temporal, els esdeveniments més catastròfics i generalitzats han tingut lloc a la tardor (octubre, novembre). S'ha pogut comprovar, també, que estan associades a episodis humits de llarga durada (setmanes o mesos) de l'hivern i la primavera.

Els darrers decennis del segle passat han estat especialment actius pel que fa a les noves trencades i reactivacions. Als Pirineus centrals i orientals, les reactivacions de lliscaments i colades de terres de mida mitjana i gran (de desenes de milers a milions de metres cúbics), han augmentat (figura 38). En observar el registre de reactivacions obtingut amb tècniques dendrogeomorfològiques (Corominas i Moya, 1999) que cobreix la totalitat del segle passat, s'observen cicles, amb alternança d'episodis de més activitat (1905-1930 i 1958-1987) i de tranquil·litat (1930-1958). Aquests cicles també han estat detectats en d'altres regions europees per bé que no d'una manera simultània a la dels Pirineus. L'avantatge del registre dendrogeomorfològic és que és continu en el temps. Cal tenir present però, que algunes reactivacions poden no quedar enregistrades en els anells de creixement dels arbres. Es tracta, doncs, d'un registre que pot ser incomplet.

El nombre de víctimes per esllavissades mostra una evolució diferent ja que té una forta dependència de l'exposició al risc (figura 39). Els casos més dramàtics corresponen als despreniments de la muntanya de Montjuïc a Barcelona (el març de 1963) en el qual es van veure afectades diverses vivendes o als accidents de mitjans de transport col·lectiu com el del ferrocarril a les costes del Garraf (l'octubre de 1981) que va col·lidir contra uns blocs despresos. Els treballs d'estabilització i la millora en la seguretat dels

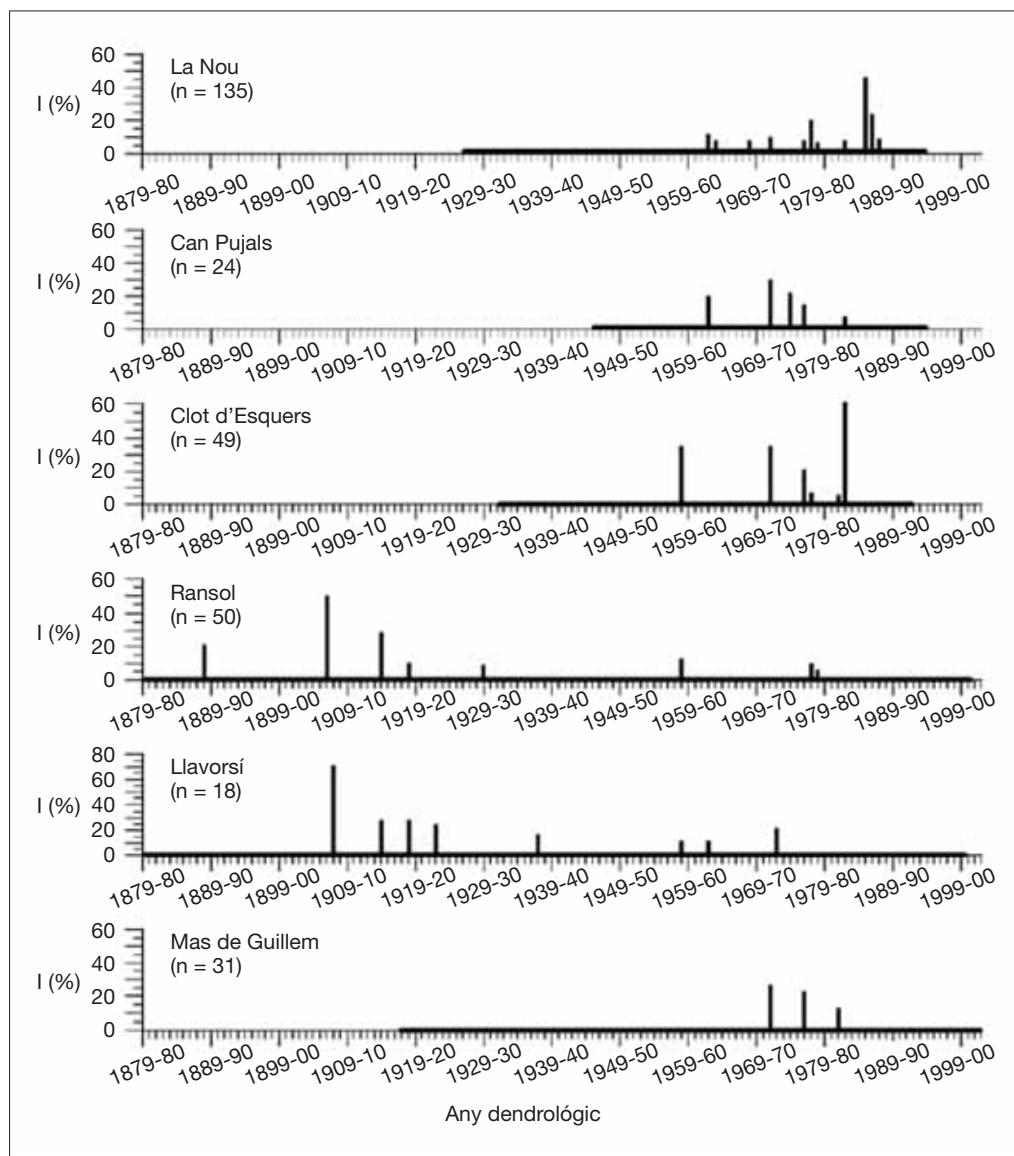


Figura 38. Registre de reactivacions en diverses colades de terres distribuïdes pel Pirineu català. *I*, mostra el percentatge d'arbres que han estat afectats per cada reactivació i *n*, el nombre total d'arbres mostrejats. La barra gruixuda horitzontal indica l'extensió del registre (modificat de Corominas et al. 2004).

desmunt de la xarxa ferroviària ha permès reduir el risc en els punts esmentats. Malgrat això, la freqüència d'accidents mortals i la mitjana de víctimes anuals ha augmentat de manera progressiva els darrers anys com a resultat d'una freqüentació més alta de les zones de muntanya (0,4 morts/any en el període 1910-1979 i 0,7

morts/any en el període 1980-2009; mentre que hi van haver 0,3 i 0,9 ferits/any en els mateixos períodes respectivament). Aquestes xifres poden no reflectir les dades reals perquè l'inventari d'esdeveniments no és complet, especialment pel que fa a la primera part del segle xx, però marquen una tendència.

7.3.9.3. Punts a considerar en l'elaboració d'escenaris futurs

Si tenim en compte els escenaris contemplats per a la península ibèrica (Castro *et al.* 2004), hi ha diversos aspectes que condicionen la futura activitat de les esllavissades: *a)* una possible reducció de la pluja hivernal i un augment de la irregularitat de les pluges; *b)* un ascens moderat del nivell del mar i *c)* un augment de les temperatures amb el desplaçament altitudinal de la vegetació i l'augment del risc d'incendis.

En aquest context, no s'ha d'esperar un increment de noves grans esllavissades per l'absència d'episodis humits de llarga durada. La variació del nombre de pluges torrencials és incerta. Christensen i Christensen (2003) preveuen per a Europa un increment de la freqüència de pluges intenses a l'estiu, però els models mostren una gran incertesa per a la regió mediterrània. De Castro *et al.* (2005) entenen, però, que no canviaria gaire la torrencialitat de les precipitacions. Malgrat la incertesa, cal preveure un augment dels lliscaments superficials, corrents d'arrossegalls i desprendiments causat per les alteracions d'origen antròpic i per una menor protecció de la vegetació, que estarà sotmesa a unes condicions climàtiques més adverses per al seu desenvolupament i a un major nombre d'incendis forestals que limitarà el seu efecte estabilitzador del vessant. Aquest augment no serà gaire evident a les serres litorals, especialment de les comarques de Tarragona, perquè es tracta de terrenys de naturalesa calcària molt resistents i amb un escàs recobriment per sòls susceptibles de lliscar.

L'augment de temperatures a la zona pirinenca, afavorirà l'augment dels desprendiments a cotes més altes que, en l'actualitat, estan protegides dels contrastos tèrmics per la presència d'un mantell nival des de desembre fins a maig. L'ascens del nivell del mar, així com l'augment de la freqüència dels temporals marins facilitarà l'erosió, la sapa i la conseqüent desestabilització dels penya-segats, particularment aquells constituïts per roques tendres.

Una disminució de la precipitació d'hivern produiria una disminució de les esllavissades extenses, produïdes per llargs períodes humits.

7.3.10. Conclusions

7.3.10.1. Precipitacions intenses i inundacions

Pel que fa a les precipitacions extremes, no existeix una concordança en la bibliografia sobre una tendència clara i comuna en les sèries de precipitació, atesa sobretot la gran influència de la selecció del període d'estudi, tant per la seva durada com per la data d'inici i de final, així com per la metodologia aplicada. De l'anàlisi de la precipitació de Barcelona en els períodes 1786-2005 (sèrie mensual) i 1854-2005 (sèrie diària), de l'anàlisi de les sèries diàries de l'Observatori de l'Ebre (des de 1905) i de l'Observatori Jardí (des de 1913), i de l'estudi de l'evolució de la precipitació mensual en els darrers 100 anys a diferents estacions de Catalunya, es conclou que:

- La precipitació anual no presenta cap tendència estadísticament significativa.
- Es detecta un lleuger augment (de l'ordre de 0,1 mm/a) de la precipitació a l'estiu, que és significatiu estadísticament.
- A la primavera apareix una certa tendència negativa, no significativa. El mes de març és el que presenta una tendència negativa més marcada.
- A la tardor i a l'hivern es detecta una certa tendència positiva, que no és significativa.
- El nombre de dies amb precipitació per sota dels 10 mm té una tendència positiva estadísticament significativa, que està lligada a la millora dels sistemes de mesura i a la sistematització del registre de dies de pluja amb escassa precipitació.
- No hi ha un augment del nombre de dies de pluges fortes ni de la màxima en 24 hores.
- La precipitació total anual dividida pel nombre de dies de pluja o Índex Simple d'Intensitat Diària (SDII), als Observatoris de l'Ebre i Fabra, presenta una tendència positiva estadísticament significativa.

Aquestes tendències poden canviar si es treballa amb períodes més curts. Així, pels darrers 50 anys, aproximadament, es troba que:

- Hi ha una manca de tendència global en la precipitació mensual. Tanmateix, s'apunta a una disminució de la precipitació a principis de la primavera, que seria més marcada a la conca del Segrià incloent la part pirinenca i que pràcticament afecta totes les capçaleres dels rius, des dels anys setanta.

- S'apunta a un cert predomini de les tendències positives estadísticament significatives de la precipitació mensual al gener i, en menor grau, al maig (a l'interior i al nord-est), a l'agost (al sud i al nord), i a l'octubre (a les comarques de la Noguera), a les conques internes de Catalunya. En general hi ha una tendència positiva de la precipitació de tardor als Pirineus, així com a punts de la costa central.
- No hi ha una tendència generalitzada a Catalunya en el nombre anual de dies de pluja.
- L'índex R90N, referit al nombre d'episodis amb precipitació superior al percentil 90, presenta una certa tendència negativa sobretot a la part catalana de la conca de l'Ebre. En la mateixa línia, el percentatge de precipitació total procedent dels episodis amb precipitació superior al percentil 90 no presenta cap tendència, amb excepcions d'algunes estacions de les comarques més occidentals. De mitjana per tot Catalunya aquestes tendències no són estadísticament significatives.
- L'índex SDII és l'únic índex relatiu a precipitacions extremes que presenta una tendència significativa, si bé tan sols a l'estiu i amb un comportament dipolar, és a dir, amb un augment a algunes comarques de la costa i Vall d'Aran, i una disminució als Pirineus i a la conca del Segrià. Aquest comportament dipolar, afegit als llocs que no experimenten tendència, porta al fet que el SDII no presenti cap tendència si es refereix a la sèrie mitjana de Catalunya.

L'anàlisi de la sèrie d'inundacions catastròfiques enregistrades a Catalunya en els darrers 500 anys mostra una variabilitat natural fortament vinculada amb les oscil·lacions climàtiques, destacant els màxims de l'inici i del final de la Petita Edat de Gel i de l'oscil·lació Maldà. Aquesta relació pot ser útil per a l'anàlisi dels escenaris futurs i, atenent a la relativa benignitat del segle xx en comparació amb segles anteriors (amb excepcions com les inundacions de 1907, 1937, 1940 o 1982), a l'elaboració de possibles escenaris d'inundacions útils per millorar les mesures de resiliència i d'adaptació. Així, respecte a les inundacions es conclou que:

- No existeix cap tendència en les inundacions catastròfiques. Aquest factor pot estar vinculat amb el clima, però també amb les diverses mesures preventives adoptades al llarg del temps.

- Existeix una tendència positiva, estadísticament significativa, en el nombre d'inundacions extraordinàries a Catalunya, a conseqüència de l'augment de les inundacions a les conques petites, principalment a la costa i sobretot al Maresme. Aquesta tendència es comença a detectar a finals del segle XIX i s'incrementa a les acaballes del segle XX. Es confirma que no es deu a un canvi en la pluviometria, sinó a un canvi en els usos del sòl que podria canviar la resposta hidrològica, l'augment de població en zones de risc d'inundació, l'augment d'exposició i de vulnerabilitat, l'augment de percepció i el decreixement del llindar de tolerància. La majoria d'aquestes inundacions són sobtades. Tanmateix, les troballes recents en l'augment de l'índex SDII a la costa a l'estiu, tot i que no constitueixen una prova de l'augment de la torrencialitat (ni la precipitació màxima diària ni la que supera el percentil del 90% donen cap tendència) requereixen un estudi més en profunditat sobre l'evolució de la precipitació convectiva i la seva associació a aquest augment de les inundacions.
- A una sèrie de conques de la capçalera de l'Ebre als Pirineus centrals s'han observat durant el període 1959-1995 una disminució de la freqüència dels cabals elevats i crescudes, i una incidència més alta de cabals baixos a l'hivern i a la primavera, que es podrien atribuir a l'augment del cobert forestal i a una disminució del mantell de neu a l'alta muntanya.

L'aplicació dels escenaris regionals sobre els extrems pluviomètrics no dona, encara, cap informació sobre Catalunya. Malgrat que l'augment de temperatura global fa pensar en una major evaporació sobre el mar i una major disponibilitat d'energia latent, no es pot concloure que comporti necessàriament un augment de les pluges fortes a Catalunya. L'augment de temperatura superficial de l'aigua de mar detectat en les darreres dècades al Mediterrani occidental i les seves conseqüències sobre el desenvolupament de la convecció s'han d'analitzar en comparació de l'augment de la temperatura de l'aire i la baixa troposfera.

Els aiguats a Catalunya estan poc vinculats amb la circulació general, si bé és clar que valors de NAOI (índex de la NAO) negatius afavoririen el desenvolupament de solcs sobre la península ibèrica i l'augment potencial d'aiguats (sense

oblidar que són necessaris altres factors). Existeix una correlació significativa, amb un coeficient de correlació lineal de $-0,60$, entre el NAOI i la precipitació en els mesos de desembre i gener, a la regió constituïda per les conques internes i l'Ebre, en els darrers 100 anys. A l'estiu no hi ha cap correlació, mentre que a la tardor, malgrat trobar-se els coeficients entre $-0,24$ (setembre) i $-0,45$ (novembre), la correlació no és significativa. La correlació pluja-NAOI està augmentant en les darreres dècades. En el període 1951-2000 existeix una correlació negativa significativa entre la precipitació de la franja mediterrània de la península i el MOI (Mediterranean Oscillation Index), a l'entorn de $-0,4$ pels mesos de setembre i maig, que baixaria a $-0,3$ pel febrer, l'abril, el juliol i l'agost. Existeix una correlació significativa entre el WeMOI (*Western Mediterranean Oscillation Index*) i la precipitació, de $-0,4$ al maig i a l'entorn de $-0,35$ al gener i al juliol.

És important analitzar l'evolució de les depressions mediterrànies atesa l'estreta relació que tenen amb la pluviometria a Catalunya (hi ha indicis que s'està produint una disminució del nombre de ciclons moderats, que són els vinculats usualment a les pluges). Considerant la gran importància dels factors mesoscalars, els models haurien de reproduir millor l'orografia de Catalunya i la parametrització de la convecció.

7.3.10.2. Sequera

Per a l'estudi de la sequera seria necessari conèixer l'evolució potencial de la temperatura, la humitat i el vent, a més de la precipitació. Seria desitjable poder disposar directament de les sortides de cabal, que també requeririen conèixer els possibles canvis en el territori i el consum. De moment les conclusions són:

- L'índex climàtic corresponent al màxim nombre de dies consecutius en un any amb precipitació inferior a 1 mm, o longitud màxima de la ratxa seca (CDD) té una tendència lleugerament positiva a les sèries de Tortosa i de Barcelona.
- Aquest índex CDD és l'únic índex d'extrems que presenta una tendència significativa temporal i espacialment en algunes regions de Catalunya, des de 1951 i per a tots els intervals temporals. Es troba que un 30% de l'àrea de

Catalunya ha experimentat un augment de la ratxa seca de l'ordre de 2 dies/dècada, i que aquest augment es manifesta independentment de la longitud de la finestra d'anys que s'agafi pel càlcul de tendències, sent la més llarga la sèrie 1951-2002. L'estació en la qual l'augment de la duració de les ratxes seques és el més marcat és la primavera.

- La sequera pluviomètrica forma part de l'escenari climàtic català. A hores d'ara és difícil dir si la darrera sequera 2004-2008 va ser a conseqüència del canvi climàtic o formava part de la pròpia variabilitat natural, malgrat que la seva intensitat i durada està molt per sobre de la d'episodis previs en el segle xx.
- Per a l'escenari A2 i el període 2071-2100, es projecta una disminució de la precipitació anual compresa entre el -5% i el -15% de mitjana per a tot Catalunya, i que seria més marcada a la costa. Tanmateix encara existeixen moltes incerteses.

7.3.10.3. Incendis forestals

Hi ha molts factors que poden influir en l'extensió i el nombre d'incendis, i que fan que calguin encara molts estudis. Tanmateix es pot concloure que:

- No existeix una tendència positiva en el nombre d'hectàrees cremades per incendis forestals a Catalunya, des de 1970. Respecte al nombre d'incendis, es detecta un augment des de l'inici de la sèrie fins al 1994, però que a la darrera dècada ja no s'observaria. Aquesta tendència positiva no s'ostinguda amb el temps pot estar influida pel fet que la sèrie no és homogènia. Per explicar aquesta manca de tendència malgrat l'augment de temperatura és necessari tenir present la millora en la prevenció (que inclou canvis de comportament de la població) i en l'extinció d'incendis experimentada en els darrers anys.
- La disminució detectada en el nombre d'incendis a Catalunya i la contenció del nombre de superfície afectada, malgrat l'augment de temperatura ja detectat i la darrera sequera, és un bon exemple de com la conscienciació ciutadana, les mesures preventives i les millores en la predicció i capacitat d'extinció, entre d'altres factors, poden millorar la capacitat d'adaptació

i de resiliència enfront dels riscos naturals en un entorn de canvi climàtic i d'augment de les condicions meteorològiques desfavorables.

- Els escenaris apunten a condicions més severes de temperatura, humitat i precipitació que podrien comportar que els incendis forestals cremessin un nombre més gran d'hectàrees, i al fet que es produïxin incendis en zones on ara no és usual a causa dels canvis en la vegetació i en la coberta forestal.

7.3.10.4. Tornados, medicans i temporals de vent

Es tracta d'una temàtica relativament recent a Catalunya i que per tant es troba molt subjecta a les investigacions futures. Per ara es poden concloure les consideracions següents:

- L'evolució dels tornados a Catalunya en els darrers 50 anys presenta un augment remarkable, però que estaria molt influït pel creixement de l'interès de la població i l'augment d'informació, cosa que dificulta esbrinar el pes que el canvi climàtic ha representat en aquesta tendència.
- Els darrers episodis de temporals de vent, com el produït pel cicló Klaus el 2009 no es poden adjudicar, de moment, al canvi climàtic.
- No hi ha prou estudis per concloure cap tendència sobre aquests fenòmens. No hi ha prou informació per concloure que els temporals de vent hagin augmentat o siguin més intensos que abans. Tanmateix, els models apunten a un potencial augment dels ciclons vinculats a aquests temporals que arribarien o es desenvoluparien a prop de Catalunya. Un augment de la SST pot ser favorable a l'augment de la intensitat i de la freqüència dels medicanes.

7.3.10.5. Pedregades i tempestes elèctriques

Com en el cas anterior, les xarxes de detecció de llamps i la detecció per satèl·lit desenvolupades fa relativament poc temps no permeten disposar encara de bones sèries llargues. Pel que fa a les pedregades, es fa difícil aconseguir informació exhaustiva sobre l'evolució dels danys i de la seva freqüència, així com de la seva afectació general, però es disposa de molta més informació per a la plana de Lleida. A hores d'ara es pot concloure que:

- Hi ha un augment de les indemnitzacions pagades per AGROSEGURO en els darrers 20 anys, però que no se sap si estaria vinculat a una intensitat o freqüència més alta de les pedregades o a un increment en el nombre d'assegurances. Seria necessari disposar de més informació i de sèries llargues.
- Es detecta un lleuger augment en el nombre de dies amb calamarsa (diàmetres inferiors a 2 cm) a Catalunya, així com un augment positiu, però tampoc estadísticament significatiu, en la intensitat de les pedregades a Lleida.
- Hi ha estudis que obtenen una bona correlació entre la temperatura mínima i la probabilitat de pedregades, i per tant, un augment d'aquesta produiria un increment del risc de pedregada. Tanmateix, s'han de considerar altres factors.

7.3.10.6. Temperatures altes i onades de calor

A diferència del cas de la precipitació, existeix un acord general sobre l'augment d'aquests riscos. En conclusió es pot dir que:

- S'observa una tendència a l'augment de les nits tropicals, la màxima de les temperatures màximes, la mínima de les temperatures màximes, les nits i els dies càlids, la durada de les ratxes càlides i l'amplitud tèrmica anual, tant a la sèrie de Barcelona com a la de Tortosa.
- Hi ha una tendència positiva superior al 3%/dècada en el percentatge de nits molt càlides (índex TN90p) en totes les comarques de Catalunya, que de mitjana per tot el país mostra una tendència positiva del 5%/dècada.
- L'índex TX90p, relatiu al percentatge de dies molt càlids, mostra un augment del 4%/dècada, sent molt més marcat a les comarques del Baix Ebre i del Montsià.
- El nombre de nits tropicals (TR20) creix acceleradament des dels anys vuitanta, amb una tendència que és per tot Catalunya de 1,7 dies/dècada de mitjana, però que en la costa pot arribar a 5 dies/dècada. L'evolució del nombre de dies consecutius per any amb temperatures màximes superiors a 25 °C (WSDI) mostra una tendència mitjana de 1,9 dies/dècada, mentre que el nombre de dies que superen aquest llindar de temperatura (SU25) presenta una tendència de 2,7 dies/dècada. En

aquests casos les comarques pirinenques no mostren cap tendència positiva significativa.

7.3.10.7. Onades de fred i gelades

L'efecte del canvi climàtic sobre aquests riscos apunta a una clara disminució en la seva freqüència. Detallant-ho més es pot dir que:

- L'evolució de tots els índexs climàtics relatius al nombre de dies freds i de gelades presenta una disminució estadísticament significativa, tant a l'Observatori de l'Ebre com a l'Observatori Fabra.
- La disminució del nombre de dies freds, de gelades i de dies consecutius amb gelada és sobretot remarcable en els Pirineus i Prepirineus.
- El percentatge de dies en què la temperatura nocturna està per sota del percentil 10, mostra una tendència negativa per tot Catalunya de $-2,1\%$ /dècada de mitjana.
- El valor mínim de la temperatura mínima diària (TNn) i del nombre de dies de gelada (FD) mostra una tendència de $-0,26\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ i de $-1,9$ dies/dècada de mitjana.
- El nombre de dies consecutius per any amb temperatures inferiors a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (CSDI) també mostra una tendència negativa, que és de $-1,2$ dies/dècada de mitjana, però que s'estén també a d'altres comarques properes a la costa i a la Depressió Central Catalana.
- El nombre de dies freds, és a dir, aquells en què la temperatura màxima està per sota del percentil 10 (TX10p), presenta una disminució del $-1,6\%$ /dècada però amb una distribució regional totalment diferent de les anteriors, amb màxims a la conca del Segre.

7.3.10.8. Temporals de neu i allaus

L'anàlisi de la seva tendència encara està subjecta a disposar de més sèries llargues i a l'anàlisi de tots els factors climàtics, geomorfològics, socials i de canvis en la vegetació, que poden influir. Tanmateix podem concloure que:

- No s'observa, però, cap tendència clara pel que fa al nombre i a la magnitud de les allaus.
- No es pot concloure que el darrer episodi de nevades intenses a cotes baixes, del 8 de març de 2010, fos degut al canvi climàtic, ni tampoc que es detecti un canvi significatiu en la freqüència de nevades a cotes baixes.
- Pel que fa a les seves conseqüències, s'observa

un augment progressiu del nombre de persones arrossegades, víctimes mortals i de ferits al llarg de les darreres dècades, a causa principalment de l'augment de l'exposició.

- Els escenaris futurs apunten al fet que el gruix de la neu i la duració de la coberta nival als Pirineus disminuirà dramàticament, si bé la magnitud d'aquests canvis seguirà un gradient altitudinal, amb decreixements superiors al 70% a la cota 1.500 m i menyspreables als punts més alts.

7.3.10.9. Esllavissades, desprendiments i caigudes de roques

Com en el cas anterior, s'han de tenir presents molts factors, i encara existeix una forta necessitat de disposar de sèries més llargues. Les principals conclusions són les següents:

- Els registres dendrocronològics mostren un augment del nombre d'episodis de reactivació d'esllavissades de mida mitjana i gran, durant els darrers decennis. No obstant això, no estem en condicions d'afirmar que la tendència es mantingui perquè l'augment pot estar associat al caràcter cíclic de les reactivacions. Tanmateix seria necessari disposar de sèries més llargues per confirmar-ho.
- Les conseqüències i, en particular, el nombre de víctimes ha experimentat una tendència a l'augment en els darrers anys, a causa fonamentalment d'una exposició més alta a les zones perilloses.
- Els canvis futurs depenen dels canvis en les precipitacions intenses i en les precipitacions abundants recollides en períodes llargs, així com canvis de temperatura que afectin el mantell nival. Malgrat la incertesa, cal preveure un augment dels lliscaments superficials, els corrents d'arrossegalls i els desprendiments causats per les alteracions d'origen antròpic i pels canvis en la vegetació.

7.4. Identificació d'incerteses, punts febles i temes no explorats

7.4.1. De l'impacte global a l'impacte regional

Veient tot el que s'ha exposat anteriorment i atenent a les pròpies conclusions del darrer informe

de l'IPCC (2007) i dels diversos informes sobre les projeccions climàtiques globals i regionals, és obvi que els escenaris futurs no estan pas exempts d'incertesa, fet que explica les diferències entre els resultats dels diversos models climàtics emprats. Les incerteses de les diverses projeccions, sobretot pel que fa a la precipitació, són encara molt elevades quan es tracta a escala regional i per a segons quines èpoques de l'any. Aquestes són especialment elevades en el sector mediterrani, on s'observen resultats contraposats segons sigui el model global i les regionalitzacions aplicades. El projecte Europeu STARDEX (Beniston *et al.*, 2007) centrat en l'anàlisi i en les projeccions dels extrems a Europa, apunta a un increment dels extrems en el període 2071-2100 per als escenaris A2 i B2, però que la natura d'aquests canvis pot variar d'un lloc a l'altre i d'una època de l'any a l'altra; particularment els resultats sobre la península ibèrica són poc concrets, més encara en la part mediterrània.

La majoria d'estudis de canvi climàtic se centren en l'estudi de l'hivern i l'estiu. Tanmateix, a Catalunya, les estacions de primavera i tardor tenen una importància notable, com és el cas del desenvolupament de tempestes o de la pròpia distribució de la pluja, caracteritzada per una distribució bimodal. Les futures orientacions han de contemplar específicament aquestes estacions de l'any.

7.4.2. Canvi climàtic i riscos naturals? O riscos naturals i canvi global?

El concepte «risc» inclou un aspecte més vinculat a la perillositat i un altre aspecte vinculat a la vulnerabilitat. Aquest darrer, a més, inclou explícitament o implícitament aspectes com l'exposició, la gestió de l'emergència, l'educació o sensibilització i la valoració dels danys. El clima i les seves variacions poden afectar, en primera instància, la perillositat, tant en el seu vessant de freqüència i període de retorn, com en el vessant de magnitud o intensitat. Si la relació entre l'augment de gasos d'efecte hivernacle i la perillositat dels riscos estrictament meteorològics és usualment no lineal, l'anàlisi de l'impacte es complica quan es parla de riscos no estrictament meteorològics, que s'han d'abordar des d'una perspectiva multifactorial. Un exemple serien les inundacions,

per a les quals qualsevol estudi de freqüència o magnitud exigiria tenir presents els aspectes geomorfològics, hidrològics o hidràulics, així com els seus possibles canvis.

El segon aspecte fa referència a l'impacte social i ecològic, molt més complex si es té en compte que la franja d'adaptació o d'acceptació envers els riscos no és estacionària ni homogènia en totes les regions. Un cert augment del risc pot amagar tant un augment de la pobresa de la regió i dels seus habitants, com un augment del valor dels béns susceptibles de ser danyats. Al seu torn, un canvi climàtic pot provocar desplaçaments de població i conseqüentment, de vulnerabilitat, o canvis d'actitud que acabin per alterar també la perillositat. De fet, si bé entre la comunitat científica no hi ha cap acord unànim sobre l'augment de la perillositat, sí que hi ha acord sobre l'augment dels riscos, o millor dit, de l'impacte dels riscos naturals, a causa essencialment d'un augment en la vulnerabilitat i en l'exposició, línia en la qual també coincideix l'informe executiu RISKCAT (Vilaplana i Payàs, 2008).

Un dels altres punts febles és l'escassa interrelació entre ciències socials i ciències naturals. Parlar d'escenaris futurs exigeix no tan sols parlar dels escenaris meteorològics i climàtics, sinó dels escenaris socials i ambientals potencials associats. Això és particularment important quan ens referim a l'impacte sobre els riscos naturals.

Finalment, atenent al diferent impacte que els riscos tenen a les diverses regions de Catalunya, és necessari que els estudis tinguin un component espacial important. Si a això se sumen les incerteses existents en les projeccions climàtiques, haurem de ser conscients que no es poden esperar resultats deterministes, sinó que s'ha de treballar dins d'un marge de possibilitats.

7.5. Punts a millorar i propostes de millora

Quan s'estudia l'impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals, s'han de tenir en compte les febleses i les fortaleces en ambdues matèries, així com la cadena d'incerteses que això implica. Això implica conèixer les mesures de prevenció, tant estructurals com no estructurals; el paper de la predicció a curt, mig i llarg termini; els agents implicats en els sistemes d'avís i en les emergències; l'existència d'una cultura del risc així com la legislació i

els sistemes d'assegurances. Aquest enfocament global ha posat de manifest que encara resten molts punts a millorar per tenir un bon coneixement dels riscos naturals, entre els quals cal destacar:

- La comprensió dels processos físics vinculats als diversos riscos naturals
- L'anàlisi del seu impacte sobre les construccions i la seva vulnerabilitat
- La definició de mesures de protecció òptimes que inclouen els sistemes ràpids d'avís
- L'harmonització de la cartografia de riscos
- L'estima de la intensitat dels fenòmens, dels llistats d'avís i dels períodes de retorn
- La insuficiència de les eines necessàries per poder avaluar íntegrament el risc i establir els procediments per reduir-lo
- La necessària implicació de tots els actors socials en la mitigació del risc

Les estratègies futures han de tenir present el marc de la International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) de l'ONU, vigent en l'actualitat i reforçada en la reunió que es va celebrar a Kobe (Hyogo, Japó) el 2005. L'objectiu de l'ISDR és promoure una preparació més gran de les comunitats davant dels riscos naturals, com una part important del desenvolupament sostenible, així com tractar la influència que hi té el canvi climàtic. Això inclou:

- Les mesures d'adaptació i de reducció de l'impacte d'aquells riscos vinculats al clima
- L'aplicació de la guia elaborada a Hyogo (Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters).
- L'aplicació d'eines que s'han mostrat efectives en aquells riscos que seran incrementats pel canvi climàtic (l'avaluació de la vulnerabilitat i el risc, els sistemes d'alerta primerenca, la planificació del territori, l'elaboració d'un codi de regulació i de mesures legals i institucionals).
- El fet d'assegurar que l'adaptació al canvi climàtic i la reducció dels desastres es troba integrada en la planificació del desenvolupament en tots els sectors.
- L'establiment de comissions interministerials i de plataformes nacionals per la reducció del risc, assegurant la coordinació intersectorial i de totes les parts interessades («multistakeholders»).

- La millora de les capacitats i dels serveis per a la transferència de coneixement i l'aplicació per cobrir els buits en la gestió del risc en els sectors més sensibles al clima.

Pel que fa a Catalunya s'ha elaborat una primera aproximació per ordre d'importància dels riscos naturals, però cal millorar el coneixement objectiu de l'impacte (els danys materials i personals) dels riscos naturals que poden ser afectats pel canvi climàtic. Seria convenient conèixer-ho per a diferents zones de Catalunya, a fi de poder prendre les mesures oportunes per a cada regió (escala provincial o per agrupació de comarques). Es recomana tenir presents els canvis futurs en la vulnerabilitat, que entesa en el sentit més ampli de la paraula, inclou l'exposició, la resposta de la població i tota la cadena d'alerta.

7.6. Conclusions i recomanacions finals

En el capítol 4 ja s'han presentat les conclusions que a hores d'ara existeixen sobre les tendències a Catalunya de tots els riscos naturals que poden ser afectats pel canvi climàtic. En síntesi, la primera conclusió és que l'augment d'una gran part dels riscos naturals es deu a un augment de la vulnerabilitat, de l'exposició, així com de la percepció, afavorida per les millores en l'observació, la detecció i la informació. En segon lloc, el coneixement de com els futurs escenaris de canvi climàtic afectaran els riscos naturals està ple de incerteses, i es requereixen nous estudis que estudiïn el canvi en la seva globalitat, tant en els aspectes essencialment climàtics com en els socials, geomorfològics, etc., així com totes les retroalimentacions entre els sistemes i els actors implicats. En tercer lloc, si bé en el cas de la temperatura hi ha evidències estadísticament significatives (entre un 95% i un 100% de confiança, segons la variable i la regió) d'un augment de les nits tropicals, de la màxima de les temperatures màximes, de la mínima de les temperatures màximes, de les nits i els dies càlids i la durada de les ratxes càlides, i d'una disminució estadísticament significativa de tots els índexs climàtics relatius al nombre de dies freds i de gelades, no passa el mateix amb la precipitació. En aquest darrer cas, tan sols l'Índex Simple d'Intensitat Diària (SDII), que dona la precipitació total anual

dividida pel nombre de dies amb pluja superior a 1 mm, i la longitud màxima de la ratxa seca (CDD), presenten tendències significatives amb una confiança del 99% a algunes regions de Catalunya, si bé no de mitjana. El primer presenta un comportament bipolar, amb augment a la costa i a la Vall d'Aran i disminució als Pirineus i al Segrià, i el segon, una tendència positiva. És per tant necessari insistir en estudis sobre la precipitació, i sobretot, sobre l'evolució de les precipitacions intenses i de curta durada, l'evolució de la precipitació convectiva i l'impacte dels escenaris futurs en aquestes variables.

Respecte als incendis forestals i malgrat l'augment de l'índex mitjà de perill a conseqüència de l'augment de temperatures, no existeix una tendència positiva en el nombre d'hectàrees cremades per incendis forestals a Catalunya, tot i que respecte al nombre d'incendis, es detecta un augment des de l'inici de la sèrie fins al 1994, però que a la darrera dècada ja no s'observaria, tendència que pot estar afectada per l'heterogeneïtat de la sèrie. En aquesta evolució és necessari tenir molt present la millora en la prevenció i en l'extinció d'incendis, experimentada en els darrers anys. Per contra, es detecta un augment d'inundacions extraordinàries a la costa, produït sobretot per un augment de la vulnerabilitat, l'exposició i els canvis en els usos del sòl.

Pel que fa a riscos severs com poden ser temporals de vent, tornados, tempestes elèctriques i pedregades, el problema principal rau en l'heterogeneïtat i/o l'escassa longitud de les sèries de què es disposa. Així, l'evolució dels tornados a Catalunya presenta un augment remarcable, però que estaria molt influït pel creixement de l'interès de la població i l'augment d'informació. Es detecta un lleuger augment en el nombre de dies amb calamarsa, així com un augment en les quanties pagades per AGROSEGURO, però no és estadísticament significatiu. En tots aquests riscos, la generació de sèries a partir del radar meteorològic, de les xarxes de deteccions de llamps i dels satèl·lits es revela fonamental per analitzar-ne l'evolució.

En el cas de riscos hidrogeològics com serien les esllavissades, les caigudes de pedres i els desprendiments, la freqüència d'accidents ha augmentat com a resultat d'una freqüentació més

alta de les zones de risc; si bé en els darrers decennis del segle passat es van observar noves trencades i reactivacions, és possible que aquesta tendència formi part d'un ritme cíclic, i per tant seria necessari disposar de sèries més llargues per confirmar-ho. No s'observa però cap tendència clara pel que fa al nombre i la magnitud de les allaus, però sí que hi ha un augment progressiu del nombre de persones afectades a causa principalment de l'augment de l'exposició.

Finalment és necessari insistir en el fet que els riscos naturals més importants a Catalunya depenen de les condicions atmosfèriques/climàtiques, i per tant, són susceptibles de ser afectats pel canvi climàtic. Tanmateix tots són riscos mixtos i han de ser abordats des d'una perspectiva interdisciplinària que tingui presents totes les variables que hi poden intervenir.

Les orientacions inspiradores que s'haurien de tenir en l'àmbit de l'impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals, tenint en compte la realitat catalana apunten a:

- Seguir les pautes acordades a la Conferència Mundial sobre la Reducció dels Desastres, i les recomanacions de l'ISDR, atenent a l'informe de l'IPCC (2007), i, coneixedors que en l'actualitat ja s'està produint un augment de l'impacte dels riscos naturals a Catalunya, prendre les mesures no estructurals (gestió del territori, educació, etc.) i estructurals necessàries per retenir i disminuir aquest augment.
- L'augment de les zones vulnerables com a conseqüència de l'augment de l'exposició suggereix que per a una millor adaptació és necessari tenir present en la planificació territorial i urbana les zones de risc i regular les intervencions urbanístiques i infraestructurals en aquestes zones.
- Atès el caràcter transversal dels riscos naturals i de l'impacte del canvi climàtic, seria oportú establir una coordinació intersectorial i interdepartamental més intensa, així com una cooperació interdisciplinària més gran incloent experts de tots els àmbits involucrats així com gestors i representants de la societat civil.
- Tenir present l'impacte del canvi climàtic en els riscos naturals en un marc de desenvolupament sostenible, i, per tant, introduir com a orientació inspiradora l'estudi de l'impacte del

canvi global sobre els riscos naturals i, en particular, els riscos sicionaturals, considerats com aquells riscos que estan augmentant a conseqüència de les activitats humanes, més enllà de les seves probabilitats naturals, i que es poden reduir i, fins i tot, evitar. Aquestes activitats poden ser les vinculades amb els factors causants del canvi climàtic, però també aquelles vinculades amb la gestió del sòl i dels recursos ambientals.

- Millorar el coneixement de tots els factors que intervenen en els riscos naturals a Catalunya i de com aquests poden ser afectats pel canvi global. S'inclou també el coneixement de com poden evolucionar els diversos escenaris socioeconòmics a Catalunya.
- Millorar les sortides dels models climàtics de totes les variables que intervenen en la perillositat dels diferents riscos.
- Unificar la terminologia relacionada amb els riscos.
- Tenir un recull sistemàtic de les bases de dades climàtiques d'alta qualitat a resolució diària i subdiària.
- Acordar les metodologies sobre el tractament de les sèries de dades i establir un protocol.
- Millorar les sèries de dades relatives a tots els factors que poden influir en els diferents riscos naturals, tant pel que fa a la seva qualitat com a l'extensió espacial i temporal.
- Tenir una bona apreciació dels danys i de les seves causes, tot discriminant els diferents factors que hi poden estar implicats.

En l'àmbit concret dels diferents riscos que afecten Catalunya, es recomana:

—Pel que fa a les inundacions, les esllavissades i els desprendiments de pedres és necessari millorar el coneixement en:

- Les sortides de les projeccions d'escenaris regionals a les estacions de tardor i d'estiu.
- Les sortides de les projeccions d'escenaris regionals pels extrems pluviomètrics, tot distingint entre pluges intenses i períodes anòmalament humits.
- La incorporació en els models regionals dels principals factors responsables dels aiguats a Catalunya, en particular els que donen crescudes sobtades (rierades). En cas de no poder fer-ho, cal ser suficientment crític amb els

resultats de les projeccions per establir un marge d'incertesa.

- El coneixement sobre com evolucionaran els escenaris socials/usos del territori, a tot Catalunya, principalment a les comarques de la costa.
- Les projeccions sobre l'augment/disminució de la intensitat de les pluges fortes (en el sentit mediterrani de la paraula, és a dir, de més de 60 mm/h)
- La seva evolució fins a l'actualitat, separant el component pluja de la resta de variables que hi intervenen. Això implica introduir informació sobre les variacions en els usos del sòl, etc.
- L'anàlisi de si s'ha produït o els models climàtics apunten a una variació estacional.
- La consideració de les peculiaritats mediterrànies (ciclogènesi, inestabilitat potencial, etc) i els factors de mesoscala que són decisius en el desenvolupament de les pluges torrencials, i que moltes vegades no es consideren en els models climàtics.
- La validació sobre Catalunya de les sortides dels models climàtics regionals per a un període suficientment llarg.
- La millora de la introducció dels models hidrològics adequats per a la predicció d'inundacions a Catalunya en els escenaris futurs.
 - Pel que fa als incendis forestals es recomana:
- Analitzar les tendències tant en el nombre d'incendis com en el nombre d'hectàrees cremades, de les darreres dècades i fins als nostres dies, tenint presents les actuacions realitzades.
- Tenir presents les tendències i les sortides del escenaris futurs, de tots els factors meteorològics implicats: temperatura, humitat i vent.
 - Pel que fa a la sequera es recomana:
- Millorar l'anàlisi de tendències, distingint entre sequera pluviomètrica i sequera hidrològica, i prenent períodes suficientment llargs.
- Analitzar la sequera pluviomètrica tenint present l'afectació del dèficit pluviomètric a les diverses zones de Catalunya.
- Millorar el coneixement de la tendència de la precipitació.

- Tenir en compte tots els factors que poden influir en la sequera, entesa com un dèficit de recurs hídric per satisfer les necessitats de la població, de l'agricultura, etc.
- Millorar la introducció dels models hidrològics de llarg termini adequats per a la predicció de sequera a Catalunya en els escenaris futurs.
–Pel que respecta a tots els altres riscos és necessari:
- Disposar d'un inventari complet de la seva evolució en els darrers anys a Catalunya i aprofundir en les relacions entre els factors meteorològics implicats i els diferents tipus i graus dels riscos mixtos.
- Validar les hipòtesis existents, obtingudes a partir dels models, sobre Catalunya.
- Discriminar les variacions en vulnerabilitat (inclou l'exposició) i en perillositat.
- Incloure dins de les llistes de riscos naturals aquells fenòmens que poden esdevenir un risc a conseqüència del canvi climàtic, sobretot aquells vinculats amb la salut i la vegetació.

Acronims

ACA: Agència Catalana de l'Aigua
 IGC: Institut Geològic de Catalunya
 MEDEX: *Mediterranean Ciclogenesis Experiment*
 NAO: *North Atlantic Oscillation*
 PICCC: Primer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya
 SST: *Sea Surface Temperature*
 STARDEX: *Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions*
 UNFCCC: Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient i la Secretaria sobre el Canvi Climàtic
 UNISDR: *United Nations International Strategy Reduction*
 WeMO: *Western Mediterranean Oscillation*.

Referències

ACA, 2009. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua.
 AEMET, 2009. *Generación de escenarios de cambio climático para España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 158 pp.

AGUADÉ, D.; MARTÍN-VIDE, J.; LLASAT, M.C. «Description of forest fires in Catalonia using the triple-dichotomy method.» *International Journal of Wild Fires* (en revisió).
 AMARO, J.; GAYÀ, M.; ARAN, M.; LLASAT, M.C. (2009). Preliminary results of the Social Impact Research group of MEDEX: requests related to Strong Wind events (2000-2002) of two Meteorological Services. Plinius Conference Abstracts, Vol. 11, Plinius11-92, 11th Plinius Conference on Mediterranean Storms.
 ALEXANDERSSON, H.; SCHMITH, T.; IDEN, K.; TUOMEN-VIRTA, H. (1998). Long-term variations of the storm climate over NW Europe. *The Global Atmosphere and Ocean System*, 6 (2): 97-120.
 ALLAN, S., ADAM, B.; CARTER, C. (eds.) (2002). *Environmental Risks and the Media*. London i New York: Routledge. 278 p.
 ALTAVA-ORTIZ, V. (2010) «Caracterització i monitoratge de les sequeres a Catalunya i nord del País Valencià. Càlcul d'escenaris climàtics per al segle XXI». Barcelona: Universitat de Barcelona.
 ALTAVA-ORTIZ, V.; LLASAT, M.C.; FERRARI, E. [et al.] «Monthly rainfall changes in Central and Western Mediterranean Basin, at the end of the 20th and beginning of the 21st centuries.» *International Journal of Climatology*. (En premsa).
 ARAN, M.; SAIROUNI, A.; BECH, J. [et al.] (2007). «Pilot project for intensive surveillance of hail events in Terres de Ponent (Lleida).» *Atmos. Res.*, 83, p. 315-335.
 BARNOLAS, M.; LLASAT, M.C. (2007). «A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century.» *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 271-281.
 BARRERA, A. (2008). *Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de la precipitación en España*; Barcelona: Universitat de Barcelona. (Tesi doctoral).
 BARRERA, A.; LLASAT, M.C. (2004). «Evolución regional de la precipitación en España en los últimos 100 años.» *Revista de Ingeniería Civil*, n.135, p. 105-113.
 BARRERA, A.; LLASAT, M.C.; BARRIENDOS, M. (2006). «Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1931 to 2005.» *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 505-518.
 BARRIENDOS, M.; MARTÍN-VIDE, J. (1998). «Secular Climatic Oscillations as Indicated by Catastrophic Floods in the Spanish Mediterranean Coastal Area (14th-19th Centuries).» *Climatic Change* 38, p. 473-491.

- BARRIENDOS, M.; LLASAT, M. C. (2003). «The study of climatic anomalies by means of zonality and NAO indices. The case of 'Malda' anomaly in the Western Mediterranean Basin (AD 1760-1800)». *Climatic Change* 61, p. 191-216.
- BECH, J.; PASCUAL, R.; RIGO, T. [et. al.] (2007). «An observational study of the 7 September 2005 Barcelona tornado outbreak». *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, p. 129-139, <www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/129/2007/>
- BENGTSOON, L.; HODGES, K.I.; KEENLYSIDE, N. (2009). «Will extra-tropical storms intensify in a warmer climate?» *J. Climate* 22, p. 2276-2301.
- BENITO, G.; COROMINAS, J.; MORENO, J.M. (2003). «Impacto sobre los riesgos naturales de origen climático». A: MORENO, J. M. (coord.) (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*; Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- BENITO, G.; BARRIENDOS, M.; LLASAT, C. [et. al.] (2005). «Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático.» A: MORENO, J. M. (coord.). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático*; Madrid: Ministerio de Medioambiente, p. 527-548.
- BENISTON, M. (2005). «Mountain climates and climatic change: An overview of processes focusing on the European Alps». *Pure and Applied Geophysics*, 162, p. 1587-1606.
- BENISTON, M.; STEPHENSON, D. B.; CHRISTENSEN, O. B. [et. al.] (2007). «Future extreme events in European climate; an exploration of Regional Climate Model projections». *Climatic Change*, 81, p. 71-95.
- BERNAL, M. (2008). *Aplicación de un SIG al análisis espacial de las tormentas de granizo en el NE de la Península Ibérica*; Barcelona: Universitat de Barcelona. (Treball del Màster Oficial en Meteorologia).
- BOSHOMS, M. (2008). *Tempestes de calamarsa a Catalunya. Cap a la creació d'una base de dades d'episodis de calamarsa. Anàlisi temporal per al període (1996-2006)*; Barcelona: Universitat de Barcelona. (Treball del Màster Oficial en Meteorologia).
- BURGUENO, A.; MARTÍNEZ, M.D.; LANA, X.; SERRA, C. (2005). *Statistical distributions of the daily rainfall regime in Catalonia (Northeastern Spain) from the years 1950-2000*.
- CAMPINS, J.; JANSÀ, A.; GENOVÉS, A. (2006). «Heavy rain and strong wind events and cyclones in the Balearics». *Advances in Geosciences*, 7 p. 73-77.
- CAMPINS, J.; ARAN, M.; GENOVÉS, A.; JANSÀ, A. (2010). «High impact weather and cyclones simultaneity in Catalonia». *8th Plinius Conference on Mediterranean Storms and extreme events in an era of climate change*.
- CENDRERO, U.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; ZAZO, C. (2005). «Impactos sobre las zonas costeras». A: MORENO, J.M. (coord.). (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*; Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, p. 469-524.
- CEPERUELO, M.; RIGO, T.; LLASAT, C.; SÁNCHEZ, J.L. (2008). «Improving hail identification in the Ebro Valley region using radar observations: Probability equations and warning thresholds». *Atmospheric Research*, 2008.
- CHRISTENSEN, O.B.; CHRISTENSEN, J.H. (2003). Severe Summer Flooding in Europe, *Nature*, 421, 805-806
- (2004). «Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate», *Global and Planetary Change*, 44, p. 107-117.
- CHRISTENSEN, J.H.; HEWITSON, B. (2007). *Regional climate projection. Supplementary material to Ch. 11 of Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*.
- COPONS, R. 2008. «El risc d'allaus a Catalunya». A: VILAPLANA, J.M.; PAYÀS, B. (red.) (2008). *RISKCAT: els riscos naturals a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, CADS. (Informes del CADS, 6). < http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informesespecials/2008/el_risc_dallaus_a_catalunya.pdf>
- COROMINAS, J.; ALONSO, E. (1984). «Inestabilidad de laderas en el Pirineo Catalán. Tipología y causas». *Conferència de presentació. Ponències i comunicacions de les Jornades de treball sobre la inestabilitat de vessants en el Pirineu*. Barcelona, p. C.1-C.53
- COROMINAS, J.; (1985). «Els riscos geològics». A: *Història Natural dels Països Catalans*. Barcelona: Gran Enciclopèdia Catalana, vol. 3, p. 225-270.
- COROMINAS, J.; MOYA, J. (1999). «Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain». *Geomorphology*, 30(1-2), p. 79-93.
- COROMINAS, J., MOYA, J., MASACHS, I. [et al.] (2004). Reconstructing recent landslide activity of Pyrenean landslides by means of dendromorphological techniques. IX Int. Symposium on Landslides. Rio de Janeiro. A: LACERDA, W.A.; EIRLICH, M.; FONTOURA, S.A.B.; SAYAO, A.S.F. (eds.). *Landslides: evaluation and stabilisation*. Balkema. Vol.1, p. 363-369

- CUNILLERA, J., 2009. «Escenaris Climàtics: Indicadors climàtics per al seguiment». A: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*, Agència Catalana de l'Aigua, p. 53-62.
- DE CASTRO, M.; MARTÍN-VIDE, J.; ALONSO, S. (2005). «El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI». A: Moreno, J.M. (coord.) (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*; Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, p. 1-64
- DELITALA, A.M.S. (2005). «Perception of intense precipitation events by public opinion». *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, p. 499-503.
- DELLA-MARTA, P.M.; PINTO, J.G. (2009). «The statistical uncertainty of changes in winter storms over the North Atlantic and Europe in an ensemble of transient climate simulations». *Geophys. Res. Lett.* 36: L14703. DOI 10.1029/2009GL038557.
- DESSENS, J. (1995). «Severe convective weather in the context of a night-time global warming», *Geophys. Res. Lett.*, 22, p. 1241-1244.
- DURMAN, C.F.; GREGORY, J.M.; HASSELL, D.C. [et al.] (2001). «The comparison of extreme European daily precipitation simulated by a global and a regional climate model for present and future climates». *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 127 (573), p. 1005-1015.
- EMANUEL, K.A. (2005). «Genesis and maintenance of 'mediterranean hurricanes'», *Adv. in Geos.*, 2, p. 217-22.
- FISCHER H.W. (1998). *Response to disaster: Fact versus Fiction and its perpetuation: The sociology of disasters*; New York: University Press of America.
- FITA, L.; ROMERO, R.; LUQUE, A. [et al.] (2007). «Analysis of the environments of seven Mediterranean tropical-like storms using an axisymmetric, non-hydrostatic, cloud resolving model», *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, p. 41-56.
- FURDADA BELLAVISTA, G. (2006). «Aludes de nieve. Riesgo actual y riesgo futuro». *Rev.C&G.*, 20, 3-4, p. 73-78.
- GALLART, F. (2009). «Impactes hidrològics: Canvis temporals observats en les sèries de cabals». A: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*; Barcelona: Agència Catalana de l'Aigua, p. 105-114.
- GARCÍA, R.; GARCÍA HERRERA, R. (2003). «Sailing ships records as proxies of climate variability over the world's oceans». *Global Change Newsletter*, 53, p. 10-13.
- GARCÍA R.; PRIETO M.R.; GIMENO L. [et al.] (1999). «The Archivo General de Indias as a source of climatic marine surface information». *WMO Marine Meteorology and Related Oceanographic Activities. Reports* 43. WMO/TD 957, p. 61-69.
- GARCÍA-SELLÉS, D.; RODÉS, P.; MARTÍ, G. [et al.] (2005). «La reconstrucción de riesgos naturales en el contexto climático de la miniglaciación. El caso catastrófico de abril de 1955 en el valle de Toran». *Boletín Glaciológico Aragonés*, 6, p. 61-85.
- GARCÍA-SELLÉS, C.; MARTÍ, G.; OLLER, P. [et al.] (2009a). Major avalanche occurrence at regional scale and related atmospheric circulation patterns in the Eastern Pyrenees, Cold Regions Science and Technology, 59, p. 106-118.
- (2009b). «Major avalanches in the Eastern Pyrenees and North Atlantic Oscillation». *International Snow Science Workshop, Proceedings Davos 2009*; Suïssa, p. 48-52.
- GAYÀ, M.; HOMAR, V.; ROMERO, R.; RAMIS, C. (2001). «Tornadoes and waterspouts in the Balearic Islands: Phenomena and environment characterization». *Atmos. Res.*, 56, p. 253-267.
- GAYÀ, M.; ARÚS, J.; LLASAT, M.C. (en preparació). «Tornadoes and waterspouts in Catalonia (1950-2009)». *Natural Hazards and Earth System Science*.
- GENOVÉS, A.; PICORNELL, M.A.; CAMPINS, J. (2010). «Explosive cyclogenesis of 23-24 January 2009. Forecast from AEMET SREPS». *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-12459.
- GONZALEZ-HIDALGO, J.C.; LÓPEZ-BUSTINS, J.A.; STEPÁNEK, P. [et al.] (2009). «Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951-2000)». *Int. J. Climatol.*, 29, p. 1415-1429.
- HAYLOCK, M.R.; HOFSTRA, N.; KLEIN TANK, A.M.G [et al.](2008). «A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation». *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, 113, D20119, DOI 10.1029/2008JD10201.
- HERRERA, S.; GUTIÉRREZ, J.M.; ANCELL, R. [et al.] «Development and Analysis of a 50 year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02)», *Int J Climatol.* (en procés).
- HOFSTRA, N.; HAYLOCK, M.; NEW, M.; JONES, P.D. (2009a). «Testing E-OBS European high-resolution gridded dataset of daily precipitation and surface temperature», *J Geophys Res* (en premsa). DOI 10.1029/2009JD011799.

- HOFSTRA, N.; NEW M.; MCSWEENEY, C. (2009b). «The influence of interpolation and station network density on the distributions and trends of climate variables in gridded daily data». *Climate Dynamics*.
- HOMAR, V.; ROMERO, R.; STENSURD, D. *et al.* (2003a). «Numerical diagnosis of a small, quasi-tropical cyclone over the western mediterranean: Dynamical vs. boundary factors», *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 129, p.1469-1490.
- (2003b). «Tornadoes over complex terrain: An analysis of the 28th August 1999 tornadic event in eastern Spain». *Atmos. Res.*, 67-68, p. 301-317.
- INUNCAT (2006). *Pla especial d'emergències per inundacions*; Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basics. Summary for Policymakers*. 21 p.
- JANSÀ, A.; GENOVÉS, A.; RIOSALIDO, R.; CARRETERO, O. (1996). «Mesoscale cyclones vs heavy rain and MCS in the Western Mediterranean». *MAP Newsletter* 5, p. 24-25.
- JANSÀ, A.; GENOVÉS, A.; PICORNELL, M.A. *[et al.]* (2001). «Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part II. Statistical approach». *Meteorolo. Appl.* 8, p. 43-56.
- JOSHI, M.; GREGORY, J.; WEBB, M. *[et al.]* (2008). «Mechanisms for the land/sea warming contrast exhibited by simulations of climate change», *Climate Dynamics*, 30 (5), p. 455-465.
- KUGLITSCH, F.G.; TORETI, A.; XOPLAKI, E. *[et al.]* 2010. «Heat wave changes in the Eastern Mediterranean since 1960». *Geophysical Research Abstracts*, European Geosciences Union.
- KUNZ, M.; MOHR, S.; RAUTHE, M. *[et al.]* (2010). «Assessment of Extreme Wind Speeds from Regional Climate Models. Part I: Estimate of Return Values and their Evaluation». *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, p. 907-922.
- LACEY, C.; LONGMAN, D. (1997). *The Press as Public Educator: Cultures of Understanding, Cultures of Ignorance*. Luton: University of Luton Press, 228 pp.
- LIBERATO, M.L.R.; PINTO, J.G.; TRIGO, I.F.; TRIGO, R.M. (2010). «Klaus, an exceptional winter storm over Northern Iberia and Southern France – a comparison between storm diagnostics». *Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, EGU2010-7319.
- LÓPEZ, L.; ORTEGA, E.G.; SÁNCHEZ, J.L. (2007). «A short-term forecast model for hail», *Atmos. Res.*, 83, p. 176-184.
- LÓPEZ BONILLO, J.A. (2004). Anàlisi de tendències en olas de calor a partir de series llargues de temperatura. A: GARCÍA *[et al.]* (eds.), *El Clima, entre el Mar y la Montaña*; Santander: Publicaciones de la AEC, serie A n.º 4. IV Congreso de la AEC. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, p. 347-354.
- LÓPEZ BUSTINS, J.A.; MARTÍN-VIDE J.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. (2008). «Iberian winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns». *Global and Planetary Change*, 63, p. 171-176.
- LÓPEZ-MORENO, J.I.; VICENTE-SERRANO, S.M.; ANGULO-MARTÍNEZ, M. *[et al.]* (2009a). «Trends in daily precipitation on the northeastern Iberian Peninsula, 1955-2006». *Int. J. Climatol.*, publicat en línia, DOI:10.1002/joc.1945.
- LÓPEZ-MORENO, J.; GOYETTE, S.; BENISTON, M. (2009b). «Impact of climate change on snowpack in the Pyrenees: horizontal spatial variability and vertical gradients». *Journal of Hydrology*, 374, p. 284-396.
- LLASAT, M.C. (2001). «An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the Northeast of Spain». *International Journal of Climatology* 21, p. 1385-1400.
- (2009). «Chapter 18: Storms and floods». A: WOODWARD, Jamie (2009). *In The Physical Geography of the Mediterranean basin*. Oxford University Press, p. 504-531.
- LLASAT, M.C.; BARRIENDOS, M.; BARRERA, A.; RIGO, T. (2005). «Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century». A: BENITO, G; OUARDA, T.B.M.J., BARDOSSY, A. (eds.) «Palaeofloods, historical data & climate variability: Applications in flood risk assessment», *Journal of Hydrology* 313 (1-2), p. 32-47.
- LLASAT, M.C.; CEFERUELO, M.; RIGO, T. (2007b). «Rainfall regionalization on the basis of the precipitation convective features using a raingauge network and weather radar observations». *Atmospheric Research*, 83, p. 415-426.
- LLASAT, M.C.; CUEVAS, G.; MIRALLES, R. (2008b). *Impacte del canvi climàtic sobre els riscos naturals*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, CADS. (Informe intern elaborat per al Grup d'Experts de Canvi Climàtic de Catalunya).
- LLASAT, M.C.; LLASAT-BOTIJA, M. (2008). «El canvi climàtic i la percepció de riscos d'inundacions a Catalunya». A: TÀBARA, J. David (coord.) (2008). *Percepció pública i política del canvi climàtic a Catalunya*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, CADS, p. 55-69.

- LLASAT, M.C.; LLASAT-BOTIJA, M.; BARNOLAS, M. [et al.] (2009a). «An analysis of the evolution of hydro-meteorological extremes in newspapers: the case of Catalonia, 1982-2006». *Natural Hazards and Earth System Science*, 93, p. 474-482.
- LLASAT, M.C.; LÓPEZ, L.; BARNOLAS, M.; LLASAT-BOTIJA, M. (2008a). «Flash-floods in Catalonia: The social perception in a context of changing vulnerability», *Adv. Geosci.*, 17, p. 63-70.
- LLASAT, M.C.; LÓPEZ, L.; LLASAT-BOTIJA, M. (2009b). «Social perception of floods in northeastern Spain through press data», *Natural Hazards and Earth System Science*, 9, p. 2049-2061.
- LLASAT, M.C.; MARTÍN, F.; BARRERA, A. (2007a). «From the concept of »kaltlufttropfen« (cold air pool) to the cut-off low. The case of September 1971 in Spain as an example of their role in heavy rainfalls». *Meteorology and Atmospheric Physics*, 96, p. 43-60.
- LLASAT, M.C.; MARTÍN-VIDE, J.; LÓPEZ, J.A.; BARRERA-ESCODA, A. (2009c). «Escenaris Climàtics. Constatacions de caràcter meteorològic a Catalunya». A: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Agència Catalana de l'Aigua, p. 29-41.
- LLASAT, M.C.; PUIGSERVER, M. (1992). «Pluies extremes en Catalogne: influence orographique et caractéristiques synoptiques». *Hydrologie Continentale*, 2, p. 99-115.
- LLASAT, M.C.; RIGO, T.; BARRIENDOS, M. (2003). «The 'Montserrat-2000' flash-flood event: A comparison with the floods that have occurred in the Northeastern Iberian Peninsula since the 14th Century», *Int. J. Climatol.*, 23, p. 453-469.
- LLEBOT, J.E. (coord.) (2005). *Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*; Barcelona: IEC i Generalitat de Catalunya, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible.
- MANZANO, A. (2009). «Impactes hidrològics: efectes sobre la variabilitat hidrològica i els fenòmens extrems; exemples de modelització hidrològica d'aiguats i sequeres en escenaris futurs». A: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua, p. 153-166.
- MARTÍN, M.L.; SANTOS-MUÑOZ, D.; MORATA, A. [et al.] (2006). «An objectively selected case study of a heavy rain event in the Mediterranean Basin: A diagnosis using numerical simulation». *Atmospheric Research*, 81, p. 187-205.
- MARTÍN, A.; ROMERO, R.; HOMAR, V. [et al.] (2007). «Sensitivities of a flash flood event over Catalonia: a numerical analysis». *Monthly Weather Review*, vol. 135, p. 651-669.
- MARTÍN-VIDE, J.; LÓPEZ BUSTINS, J.A. (2006). «The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula». *International Journal of Climatology*, 26, 11, p. 1455-1475.
- MARTÍNEZ, P.; OLLER, P. (2004). «Els accidents per allaus al Pirineu de Catalunya». *Actes de la 1a Jornada Tècnica de Neu i Allaus*. Insitut Cartogràfic de Catalunya. Barcelona, 16 de Juny de 2004.
- MARULL, J., (dir.) (2004). *La matriu territorial: criteris ecològics i mètodes paramètrics aplicats a Catalunya*; Barcelona: Barcelona Regional. (CD-ROM).
- McKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. (1993). «The relationship of drought frequency and duration to time scales». *Eight Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, California.
- MERINO, A. (2009). «Caracterización termodinámica de la atmósfera en situaciones de granizo en el valle medio del Ebro y comparación con otras regiones de formación de tormentas»; Barcelona: Universitat de Barcelona. (Treball del Master Oficial en Meteorologia).
- MORALES, E, J.; ARÚS, M.C.; LLASAT, M.; [et al.] (2009). «A database about the tornadic activity in Catalonia (NE Spain) since 1994». *11th Plinius Conference on Mediterranean Storms*, Barcelona, setembre 2009.
- MORENO, J.M. (coord.) (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*; Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 822 pp.
- MOSCATELLO, A.; MIGLIETTA, M.M.; ROTUNNO, R. (2008). «Numerical analysis of a Mediterranean 'hurricane' over south-eastern Italy», *Monthly Weather Review*, 136, p. 4373-4397. DOI 10.1175/2008MWR2512.1
- MOYA, J.; COROMINAS, J. (1997). «Condiciones pluviométricas desencadenantes de deslizamientos en el Pirineo Oriental». *4º Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Granada. Noviembre 1997. Vol. 1, p. 199-212.
- NISSEN, K.M.; LECKEBUSH, G.C.; PINTO, J.G. [et al.] (en procés). «Cyclones causing wind storms in the Mediterranean: characteristics and links to large-scale patterns». *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- OLIVA, M.; LÓPEZ BUSTINS, J.A.; BARRIENDOS, M. [et al.] (2006). «Reconstrucción histórica de la oscilación

- del Mediterráneo Occidental (WEMO) e inundaciones en el Levante Peninsular (1500-2000)». A: CUADRATS *et al.* (eds) *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, AEC, Serie A, 5, p. 241-250.
- OLLER, P.; MUNTAN, E.; MARTURIA, J.; [et al.] (2006). «The avalanche data in the Catalan Pyrenees. 20 years of avalanche mapping», *Proceedings International Snow Science Workshop*, Telluride (CO, USA), p. 305-313.
- PALMER, T. N.; RÄISÄNEN, J. (2002). «Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate». *Nature*, vol. 415.
- PAREDES, D.; TRIGO, R.M.; GARCÍA-HERRERA, R.; TRIGO, I.F. (2006). «Understanding precipitation changes in Iberia in early spring: weather typing and storm-tracking approaches». *J. Hydrometeorol.*, 7, p. 101-113.
- PASCUAL, R. (2000). «Granizo en el llano de Lleida». INM. Tempoweb training module.
- PEÑA, J.C.; GARCÍA-SELLÉS, C.; MARTÍ, G.; [et al.] (2006). «Análisis de la temperatura en alta montaña: reciente descenso térmico invernal en el Pirineo oriental y su relación con la circulación atmosférica. Resultados preliminares». A: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, nº 5, p. 261-271, Zaragoza.
- PEÑUELAS, J. [et al.] (2009). «Escenaris climàtics: Constatacions biològiques del canvi climàtic a Catalunya» A: *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua, p. 43-52.
- PROHOM, M. (2002). «El uso de los diarios de navegación como instrumento de reconstrucción climática. La marina catalana del siglo XIX». *Investigación Geográfica*, 28; Alicante: Universidad de Alicante, p. 89-104.
- RAMIS, C.; LLASAT, M.C.; GENOVÉS, A.; JANSÀ, A. (1994). The October-1987 floods in Catalonia: synoptic and mesoscale mechanisms. *Meteorological Applications* 1: 337-350.
- RAMIS, C.; ARÚS, J.; LÓPEZ, J.M.; MESTRES, A.M. (1997). «Two cases of severe weather in Catalonia (Spain): an observational study». *Meteorological Applications*, 4, p. 207-217. DOI 10.1017/S1350482797000510.
- RAMIS, C.; ROMERO, R.; HOMAR, V. [et al.] (1998). Diagnosis and numerical simulation of a torrential precipitation event in Catalonia (Spain). *Meteorol. Atmos. Phys.*, 69, 1-21.
- RAMIS, C.; LÓPEZ, J.M.; ARÚS, J. (1999). «Two cases of severe weather in Catalonia (Spain). A diagnostic study». *Meteorological Applications*, 6, p. 11-27. DOI 10.1017/S1350482799000869.
- RASILLA, D.; GARCÍA, J.C. (2010). «Decadal variability of windstorms in the Gulf of Biscay: classification, trends and links with low frequency patterns». *Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, EGU2010-13798.
- RAUTHE, M.; KUNZ, M.; KOTTMEIER, Ch. (2009). «Changes in storm climatology over Central Europe derived from a small ensemble of high resolution regional climate models». *Accepted Met. Z.*
- RIGO, T. 2004. *Estudio de Sistemas Convectivos Mesoscales en la zona Mediterránea Occidental mediante el uso del radar meteorológico*. Universitat de Barcelona. (Tesi doctoral).
- RIGO, T.; LLASAT, M.C. (2005). «Radar analysis of the life cycle of mesoscale convective systems during the 10 June 2000 event». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, p. 1-12.
- ROEBBER, P. J.; SCHULTZ, D.M.; ROMERO, R. (2002). «Synoptic regulation of the 3 May 1999 tornado outbreak». *Weather and Forecasting*, 17, p. 399-429.
- ROMERO, R.; RAMIS, C.; ALONSO, S. (1997). «Numerical simulation of an extreme rainfall event in Catalonia: Role of orography and evaporation from the sea». *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 123, p. 537-559.
- ROMERO, R.; RAMIS, C.; ALONSO, S. [et al.] (1998). «Mesoscale model simulations of three heavy precipitation events in the western Mediterranean region», *Mon. Wea. Rev.*, 126, p. 1859-1881.
- SALADIÉ, O. [et al.] (2004). «Variaciones y tendencia secular de la precipitación en el sistema mediterráneo catalán (1901-2000)». A: GARCÍA CODRÓN [et al.], AEC n. 4, p. 400 i següents.
- (2006). «Análisis de la tendencia de la precipitación de primavera en la cuenca del Pirineo Oriental durante el periodo 1896-2003». A: CUADRAT [et al.] (2006). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, AEC n. 5, p. 475 i següents.
- (2007). «Observar la lluvia en Cataluña: 150 años de registros». Universitat Rovira i Virgili. (Publicacions de la URV, col. Recerca, 3).
- SÁNCHEZ, J.L.; FERNÁNDEZ, M.V., FERNÁNDEZ, J.T. [et al.] (2003). «Analysis of mesoscale convective systems with hail precipitation», *Atmos. Res.*, 67-68, p. 573-588.

- SCHAR, C.; VIDALE, P.L.; LÜTHI, D. *et al.* (2004). «The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves», *Nature* 427, p. 332-336
- SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA (SMC) (2008). *Butlletí anual d'indicadors climàtics*. Any 2007.
- TÀBARA, J. D. (2005). «Percepció i comunicació del canvi climàtic a Catalunya». A: LLEBOT, J.E. (coord). (2005) *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, CADS i Institut d'Estudis Catalans, p. 772-815. <<http://www.gencat.cat/cads/pdf/iccc/C3.pdf>>
- TÀBARA, J.D. (coord.) (2008). *Percepció pública i política del canvi climàtic a Catalunya*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya. (Documents de recerca, 14).
- TURCO, M.; LLASAT, M.C. (2010). «Extreme precipitation variability in Catalonia in the period 1951-2003», *Natural Hazards and Earth System Science*. (en rev.).
- ULBRICH, U.; LECKEBUSCH, G.C.; PINTO, J.C. (2009). «Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review», *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 96, 1-2 (abril, 2009). DOI 10.1007/s00704-008-0083-8, p.117-131.
- UN (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. UN Documents. Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427 - Development and International Co-operation: Environment
- UNISDR (2009) UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction [<http://www.unisdr.org/eng/terminology/terminology-2009-eng.html>]
- VILAPLANA, J.M.; PAYÀS, B. (coord.) (2008). *RISKCAT. Els Riscos Naturals a Catalunya. Informe executiu*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de la Vicepresidència, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, 226 p. (Informes, 6).
- WANG, X.L.; ZWIERS, F.W.; SWAIL, V.R.; FENG, Y. (2009). «Trends and variability of storminess in the North-east Atlantic region, 1874-2007». *Climate Dynamics*, 33 (7), p. 1179-1195.

Webs

- ENSEMBLES: <http://ensembles-eu.metoffice.com>.
- ECA&D project: <http://eca.knmi.nl>.
- IGC: <http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/igc/cataleg.html#allaus>.
- IGC, accidents allaus: http://www.igc.cat/web/gcontent/ca/allaus/igc_allaus_accidents.html
- Informe ACA: http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P17200198371242729159775&_nfls=false
- MEDEX: <http://medex.aemet.uib.es/>.
- RINAMED: <http://www.rinamed.net>.
- STARDEX: http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/reports/STARDEX_FINAL_REPORT.pdf.

8. Vulnerabilitat territorial dels recursos hidrològics al canvi climàtic

Josep Mas-Pla*

Grup de Recerca en Geologia Aplicada i Ambiental (GAiA),
Centre de Geologia i Cartografia Ambiental (GEOCAMB),
Departament de Ciències Ambientals, Universitat de Girona

Josep Mas-Pla (Girona, 1962) és doctor en Ciències Geològiques per la Universitat Autònoma de Barcelona (1988) i Ph.D. en Hidrologia i Recursos Hidrològics per la Universitat d'Arizona, EUA (1993). Ha estat professor titular del Departament de Geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona (1990-2006). Des de 2006, és professor titular al Departament de Ciències Ambientals de la Universitat de Girona, responsable del grup de recerca de Geologia Aplicada i Ambiental (GAiA) i membre del Centre de Recerca en Geologia i Cartografia ambiental (Geocamb) de la mateixa universitat. L'àmbit de la seva recerca se centra en el camp de la hidrogeologia regional, la modelització de la dinàmica hidrogeològica i l'anàlisi de la vulnerabilitat dels sistemes hidrogeològics, mitjançant l'ús de dades de camp: piezomètriques, hidrogeoquímiques i isotòpiques, i de les relacions dels recursos hídrics amb les pressions antròpiques en el marc de la gestió sostenible de l'aigua. Ha publicat en revistes nacionals i estrangeres i ha contribuït en l'edició de llibres relacionats amb temes hidrològics i ambientals. En el camp de la docència, ha estat coordinador de la llicenciatura de Ciències Ambientals a la UAB (1998-2002) i a la UdG (des de 2008). Com a professor visitant, ha realitzat estades i cursos a la UC Davis (EUA), a les universitats de Torino i Venècia (Itàlia), a l'Escola Politècnica Superior a Lugano (Suïssa), i a l'ENI de Sfax (Tunísia).

* L'autor agraeix a Andreu Manzano les seves aportacions durant el procés de redacció i de correcció del text, tant en el reconeixement de la realitat territorial com de les tasques de gestió que es desenvolupen des de l'Administració, així com els comentaris dels revisors del manuscrit. També li cal agrair a Berta Mota la realització de les cartografies que il·lustren aquest capítol.

Resum	313
8.1. Introducció	315
8.2. Canvi climàtic i cicle hidrològic	316
8.3. La Directiva marc de l'aigua: anàlisi de pressions i impactes a les masses d'aigua	317
8.4. Anàlisi dels impactes sobre el cicle hidrològic en el context de canvi climàtic	319
8.4.1. Factors climàtics, factors no climàtics o antròpics, i vulnerabilitat	319
8.4.2. Impactes en els recursos hidrològics associats als factors climàtics	320
8.5. Anàlisi de la vulnerabilitat territorial al canvi climàtic	323
8.5.1. Vulnerabilitat territorial associada a la variació del cabal dels rius	323
8.5.1.1. Efectes dels factors climàtics	323
8.5.1.2. Pressions sensibles als canvis dels factors climàtics i impactes derivats	324
8.5.1.3. Vulnerabilitat territorial	324
8.5.2. Vulnerabilitat territorial associada als efectes de la recàrrega dels aquífers	327
8.5.2.1. Efectes dels factors climàtics	327
8.5.2.2. Pressions sensibles als canvis en la recàrrega i impactes derivats	328
8.5.2.3. Vulnerabilitat territorial	330
8.5.3. Vulnerabilitat territorial associada a l'alteració de la qualitat hidroquímica de l'aigua	333
8.5.3.1. Efectes dels factors climàtics	333
8.5.3.2. Pressions sensibles als canvis en els factors que determinen la qualitat dels recursos	334
8.5.3.3. Vulnerabilitat territorial	334
8.6. Conclusions	338
Referències	340

Resum

Les manifestacions del canvi climàtic en el medi es reflecteixen amb especial rellevància en el cicle hidrològic i, per tant, en la disponibilitat de recursos hídrics per a les funcions ecohidrològiques i per a l'abastament humà. Amb la certesa que les darreres dècades han constatat alteracions de les dinàmiques hidrològiques, aquest capítol aprofundeix en la vulnerabilitat del territori de Catalunya per adaptar-se a les accions dels efectes adversos per al cicle de l'aigua com són l'augment de temperatures i la disminució de les precipitacions previstes en l'horitzó de 2100 a la Mediterrània occidental.

No obstant això, les alteracions dels efectes, o factors, climàtics sobre el cicle hidrològic s'afegeixen als impactes derivats de l'explotació dels recursos hídrics per part de les activitats humanes, amb pressions directes sobre la disponibilitat de l'aigua i de la seva qualitat. Per tant, les modificacions de la dinàmica hidrològica en el territori seran la conseqüència dels factors climàtics més els factors antròpics i, especialment, de com la gestió del recurs s'adaptarà a un escenari caracteritzat per una major demanda i, previsiblement, una menor disponibilitat del recurs, juntament amb l'exigència de preservació ambiental.

Per aquesta raó, l'anàlisi de la vulnerabilitat territorial dels recursos hídrics al canvi climàtic es basa en els impactes ocasionats pels factors climàtics, segons l'estudi ACA-FNCA (2009), i en les pressions humanes definides en els documents d'aplicació de la Directiva marc de l'aigua a Catalunya (ACA, 2005). En aquest sentit, es considera que les principals afeccions del canvi climàtic damunt dels recursos hídrics estan associades a la disminució de l'escorriment superficial als rius, la disminució de la recàrrega als aqüífers i l'alteració de la qualitat hidroquímica de l'aigua. Tanmateix, les afeccions d'origen humà deriven de la captació d'aigua a rius i aqüífers per a l'abastament de les distintes necessitats humanes, i de l'alteració de la qualitat del recurs per abocament de substàncies contaminants que afecten tant aigües superficials com subterrànies.

En definitiva, l'estudi de la vulnerabilitat consisteix a identificar —i cartografiar— la magnitud de les alteracions associades al canvi climàtic per determinar com afecten les pressions antròpiques, ja existents, i conjuntament com modifiquen la disponibilitat d'aigua en el context de cada una de les conques hidrogràfiques i dels sistemes hidrogeològics de Catalunya (és a dir, en el conjunt de les masses d'aigua superficials i subterrànies) atesa la idiosincràsia física, geològica i hidrològica d'aquestes unitats territorials.

En relació amb les masses d'aigua superficial, la major vulnerabilitat s'identifica en aquelles conques hidrogràfiques que destinen una part del cabal a satisfer la demanda antròpica i a la producció hidroelèctrica, especialment a les conques altes del Llobregat i Ter. Respecte a la qualitat, la disminució del cabal representa una pèrdua de la capacitat de dilució als rius i, per tant, un major impacte dels abocaments urbans o industrials d'aigües majoritàriament regenerades. Els cursos mitjà i baix dels rius Llobregat, Ter i Fluvià, el tram baix de l'Ebre i les conques de la Tordera i el Francolí, constitueixen les unitats hidrològiques més vulnerables als efectes del canvi climàtic a la contaminació. La disminució del cabal dels rius també té una repercussió directa en la qualitat de l'aigua subterrània, atesa la relació riu-aqüífer.

La disminució de la recàrrega procedent de la infiltració de la pluja augmentarà la vulnerabilitat de les formacions hidrogeològiques —aquífers— associades als sistemes al·luvials dels trams mitjans dels rius Fluvià, Ter, Llobregat, Tordera, Segre i Ebre, entre altres, i de les seves formacions fluviodeltaiques. La dependència de la recàrrega directa de la precipitació determinarà el grau de vulnerabilitat, que serà menor en aquells casos en què els aqüífers puguin rebre aportacions de flux laterals (naturals i induïts per bombeig) procedents d'altres formacions hidrogeològiques. Així, els sistemes hidrogeològics regionals presentaran una vulnerabilitat menor atesa la seva configuració geològica, el gran volum de

recurs que contenen i el ritme de transferència de les afeccions en forma de flux de l'aigua emmagatzemada. No obstant això, els sistemes càrstics poden ésser més vulnerables al canvi climàtic. Les pressions que afecten la qualitat hidroquímica de l'aigua subterrània estan associades a l'abocament de purins i contaminants industrials. La vulnerabilitat dels aqüífers pel que fa als aspectes qualitatius està relacionada tant amb les variacions climàtiques del cicle hidrolò-

gic local com amb l'explotació del recurs que afavoreix la migració i distribució del contaminant en el subsòl.

En l'anàlisi de la vulnerabilitat es fa palesa la rellevància de la gestió de l'aigua per atenuar els impactes i adaptar-se als nous escenaris de futur. Els sistemes hidrològics seran, doncs, menys vulnerables en la mesura en què que la capacitat d'actuació sobre els diferents factors sigui més intensa i efectiva.

8.1. Introducció

Actualment, està acceptat que les modificacions que el canvi climàtic opera en el cicle de l'aigua es manifesten a diferents escales arreu del planeta: des de la transformació dels cicles atmosfèrics, que determina la variabilitat dels fenòmens meteorològics, fins a la fosa de les geleres a les grans serralades o a la variabilitat dels cabals dels rius. Aquests efectes modifiquen lentament la disponibilitat d'aigua, ja sigui per excés o per defecte en funció de la zona de la Terra. En tot cas, el cicle de l'aigua és un dels aspectes més vulnerables en el procés de canvi climàtic i un dels que requerirà un major esforç d'adaptació per part de la societat actual (IPCC, 2001, 2007; EEA, 2008; Cooley, 2009).

En aquest escenari de canvi climàtic, el cicle hidrològic és especialment alterable en cada un dels seus components: la precipitació, l'escorriament superficial, l'evapotranspiració i la recàrrega d'aigua al subsòl (Mas-Pla, 2005). Addicionalment, els fluxos subterranis entre conques, així com les descàrregues d'aigua subterrània al mar, també quedaran afectats com a resultat de l'alteració general del sistema hidrològic. Si en aquest context s'hi inclouen les extraccions d'aigua per al consum humà marcades per les necessitats establertes per un sistema socioeconòmic creixent, es fa palesa la vulnerabilitat del sistema hidrològic i la seva potencial incapacitat per a satisfer les dues funcions principals de l'aigua: l'abastament de la demanda humana i la preservació de les dinàmiques ecològiques i geodinàmiques que sustenta, altrament anomenades dinàmiques o processos ecohidrològics (Sear, 1999; Hancock, 2002; Sophocleous, 2002).

Els informes internacionals i nacionals referents al canvi climàtic (IPCC, 2001, 2007; Moreno, 2005; Llebot, 2005) fan referència a la capacitat de mitigar-ne els efectes i d'adaptar-se als nous escenaris resultants de les alteracions que se'n derivin. En aquest sentit, les propostes de mitigació són, en tot cas, a escala mundial. Des d'una perspectiva regional cal esperar la màxima contribució en la disminució dels vectors que governen el canvi climàtic, si bé els resultats dependran d'actuacions a nivell mundial i, sobre-

tot, de la posició geogràfica de la zona en qüestió. Contràriament, el procés d'adaptació és factible a escala regional. L'adaptació es basa en el coneixement dels recursos propis, en les alteracions del cicle hidrològic associades a les prediccions climàtiques actuals i, finalment, en la pròpia capacitat de gestió dels recursos. És, doncs, en relació amb els processos d'adaptació que té sentit analitzar la vulnerabilitat dels recursos hidrològics al canvi climàtic.

El concepte de vulnerabilitat fa referència a la capacitat intrínseca d'un sistema a adaptar-se a l'acció d'efectes adversos. La vulnerabilitat hidrològica avalua, doncs, la magnitud en què unes pressions —en aquest cas, les variacions hidrològiques associades al canvi climàtic— afectaran els components del cicle de l'aigua i alteraran la seva capacitat per a desenvolupar les funcions esmentades. Per tant, l'anàlisi de la vulnerabilitat dels sistemes hidrològics davant de les previsions climàtiques en un horitzó temporal d'un segle permet pensar les accions d'adaptació que caldrà emprendre a mitjà termini a un nivell territorial. De fet, el IV informe de l'IPCC (2007; i en particular, Kundzewicz, 2007) distingeix entre els factors climàtics i els no climàtics en l'anàlisi dels impactes a les aigües continentals. Concretament, anota que l'evolució futura dels factors no climàtics també serà necessària per a avaluar la vulnerabilitat dels sistemes d'aigües continentals, i caldrà comparar la importància relativa dels impactes associats a tots dos tipus de factors. Aquesta doble pressió, climàtica i antròpica, forma part del concepte de canvi global.

Actualment, la gestió dels recursos hidrològics està definida per la Directiva marc de l'aigua (Directiva 2000/60/CE; en endavant, DMA) i per altres directives derivades, com la Directiva d'aigües subterrànies (Directiva 2006/118/CE; en endavant, DAS). La tasca inicial de la DMA en la seva aplicació a les diferents conques hidrogràfiques ha estat analitzar les pressions i impactes damunt les diferents masses d'aigua amb la finalitat d'avaluar la possibilitat d'assolir els objectius que defineix. Així, la finalitat principal de la DMA és apropar-se a una gestió sostenible de

l'aigua que preservi l'abastament hidrològic i els valors ecològics, socials i econòmics relacionats amb aquest recurs. Aquesta gestió es mesurarà en funció de l'estat hidrològic i ecològic de les masses d'aigua, entre altres indicadors. Des de la perspectiva de l'anàlisi de la vulnerabilitat i de l'assoliment dels objectius de la DMA, com a fita àmpliament acceptada per a una gestió apropiada de l'aigua, el coneixement de les pressions i dels impactes no climàtics sobre el medi hidrològic és un punt de partida fonamental per a valorar els efectes del canvi climàtic en clau territorial.

En aquest capítol es desenvolupen aquells aspectes que fan referència als impactes hidrològics del canvi climàtic, aplicats explícitament al territori català. En aquest moment actual coincideixen dues actuacions ben definides per part de l'administració catalana que permeten un assaig de la vulnerabilitat territorial dels recursos hidrològics al canvi climàtic: d'una banda, la redacció dels documents necessaris per a l'aplicació de la DMA, elaborats i a bastament difosos per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA; <http://aca-web.gencat.cat/aca>), i la redacció dels plans hidrològics de conca; de l'altra, l'elaboració d'informes sobre el canvi climàtic a Catalunya per part de diverses institucions, com el Consell Assessor del Desenvolupament Sostenible (Llebot, 2005) i la mateixa ACA, juntament amb la Fundació Nova Cultura de l'Aigua (ACA-FNCA, 2009). Aquests treballs han estat una referència indispensable per a la redacció d'aquesta contribució al segon Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya.

El capítol consta de quatre apartats. El primer fa referència a les previsions del canvi climàtic a Catalunya i el seu efecte en els components dels cicle de l'aigua. El segon descriu l'anàlisi de pressions i impactes a les masses d'aigua, la seva tipologia i magnitud en funció de les masses d'aigua continentals d'acord amb la DMA. En l'exercici de valoració de la vulnerabilitat, és fonamental fer referència als impactes que el canvi climàtic exercirà sobre el cicle de l'aigua i els seus components, i aquest és el contingut del tercer apartat, el qual es basa en les contribucions de diferents autors al text recent d'ACA-FNCA (2009). Finalment, aquesta informació es com-

pila en una descripció de la vulnerabilitat dels recursos hidrològics del territori català als efectes del canvi climàtic.

8.2. Canvi climàtic i cicle hidrològic

En el context de la Mediterrània occidental i en l'horitzó del segle XXI, les previsions climàtiques a escala mundial coincideixen que hi haurà un increment de la temperatura general d'entre 3 °C i 4 °C i, respecte a la precipitació, es preveu una disminució de l'ordre del 20% de la precipitació durant els mesos de juny a agost, si bé no hi ha acord entre els models atmosfèrics de la variació de la precipitació a la zona oriental de la península ibèrica (IPCC, 2007).

Aquestes prediccions a escala mundial han estat millorades en escenaris climàtics detallats per a Espanya usant diverses tècniques de regionalització (INM, 2007). Calbó *et al.* (2009) sintetitzen els resultats d'aquest estudi per establir projeccions climàtiques per a Catalunya que, malgrat les incerteses dels models, es poden considerar indicatives per a valorar els efectes sobre els recursos hidrològics. En aquest sentit, els increments de temperatura mitjana oscil·len entre $2,9 \pm 1,0$ °C i $4,4 \pm 0,8$ °C per als escenaris climàtics B2 i A2, respectivament, en l'horitzó temporal 2071-2100, segons les dades climàtiques del projecte PRUDENCE. Aquests increments seran més importants a les comarques d'interior i al Pirineu que a la zona litoral. Estacionalment, es preveu un important augment als mesos d'estiu que pot assolir 7,5 °C damunt de la mitjana actual. Per a un horitzó més proper, 2011-2040, l'increment de temperatura mitjana per als dos escenaris és d' $1,4 \pm 0,6$ °C.

Amb relació a la precipitació, la variació expressada en percentatge en els dos casos és negativa: de $-8 \pm 6\%$ i de $-12 \pm 10\%$ per als escenaris B2 i A2 en l'horitzó de 2071-2100. Les zones de costa tindran un descens més rellevant de la precipitació mitjana anual (de -20% a -10%) que les zones interiors (de -15% , a 5%) i del Pirineu (de -5% a 5%). Els descensos seran especialment notables durant els mesos d'estiu (de -40% a -35% a les zones litorals i d'interior, respectivament) i poden ésser positius (de 5% a 15%) a la zona pirinenca durant l'hivern.

Les projeccions relatives a l'augment del nivell del mar a la Mediterrània són escasses, si bé cal esperar que l'augment sigui inferior a uns 30 cm en l'horitzó de 2100 (Calbó *et al.*, 2009).

Aquestes prediccions climàtiques dibuixen un escenari poc favorable per als recursos hidrològics, i el més important és que indiquen la necessitat de definir estratègies d'adaptació estrictes en el context de la planificació hidrològica. Així, a grans trets, el cicle de l'aigua veu minvat el seu volum a nivell de conca per una disminució de la precipitació i per un augment de l'evapotranspiració. L'escorriment superficial dels rius i la recàrrega hídrica del subsòl disminuiran en conseqüència. Canvis en la intensitat de les precipitacions i de la nivació també alteraran el balanç hidrològic. Addicionalment, aquest context de canvi inclou una major variabilitat intraanual i interanual, de manera que els recursos d'aigua disponibles seran menys previsibles a partir de les dades registrades anteriorment.

Tanmateix, hi ha altres factors que són rellevants en el control del balanç hídric: els usos del sòl, especialment de la superfície destinada a cobertora forestal i la seva tipologia (Sabaté, 2009), i les extraccions corresponents a la demanda ant tròpica. Ambdós factors es poden controlar mitjançant els plans hidrològics i de desenvolupament territorial, especialment el volum destinat als diversos usos humans de l'aigua, el qual es pot satisfer aplicant solucions tecnològiques com la regeneració d'aigües residuals o la dessalinització de l'aigua de mar.

Aquesta visió generalista de l'impacte del canvi climàtic en els recursos hidrològics, si bé és vàlida conceptualment, és insuficient per a valorar l'afecció damunt el territori on coexisteixen (o poden coexistir) diferents recursos —superficials o subterranis—, diferents pressions —urbanes, agrícoles, industrials...—, i distintes oportunitats de gestió. Una mirada al territori que integri l'estudi de les diferents pressions amb la realitat hidrològica sota la perspectiva d'una alteració del cicle hidrològic causada pel canvi climàtic ofereix una sistematització dels impactes resultants que pot ésser emprada en les decisions relacionades amb les estratègies d'adaptació al canvi climàtic.

8.3. La Directiva marc de l'aigua: anàlisi de pressions i impactes a les masses d'aigua

La Directiva marc de l'aigua constitueix la norma de referència per a la gestió hidrològica a la Unió Europea. Si bé explícitament no fa referència als efectes del canvi climàtic en els recursos hidrològics, du implícit que la gestió de l'aigua, basada en els plans hidrològics de conca, s'ha de fonamentar en el bon estat de les masses d'aigua. Aquests plans de conca han d'incorporar els mecanismes pels quals es fa compatible un règim d'extraccions amb l'ús apropiat del recurs, l'assoliment d'objectius ambientals i la preservació d'altres valors associats a l'aigua, la qual cosa només es pot assolir si l'assessorament tècnic té en compte, a mitjà termini, les variacions que el canvi climàtic produirà en el cicle de l'aigua (Galbiati, 2009).

El concepte de massa d'aigua és una de les contribucions de la DMA a la gestió hidrològica. Defugint la divisió hidrològica clàssica d'elements hídrics (rius, llacs, aqüífers, zones costaneres, estuaris, aqüífers...), la directiva divideix cada un d'aquests elements en segments, o unitats, en funció de les possibilitats d'assolir els objectius que proposa, i els anomena *masses d'aigua*. La voluntat de la DMA és identificar-les, mesurar-ne l'estat hidrològic i ecològic, i preveure un pla de seguiment i de mesures que permeti assolir els objectius ambientals en diferents àmbits i terminis en funció de la magnitud de les diverses pressions i impactes identificats. Així, la DMA diferencia entre masses d'aigua superficials, que inclouen rius, llacs, zones de transició i aigües costaneres, i les masses d'aigua subterranies, que corresponen a sistemes (o parts de sistemes) hidrogeològics. També té present l'existència de masses d'aigua artificials i d'altres, anomenades «altament modificades», les quals per les seves característiques no podran assolir un bon estat abans de l'any 2015 (Mas-Pla, 2006). Per simplicitat, en aquest capítol només es fa referència als rius com a masses d'aigua continental superficial, sense incloure-hi estanys o zones humides. Tanmateix, amb la mateixa finalitat, en aquest treball també s'han reunit els diferents trams de la xarxa fluvial que constitueixen les 372 masses d'aigua, en conques o subconques hidrogràfiques (ACA, 2005).

El procés de caracterització de les masses d'aigua ha comprès l'anàlisi de les pressions i impactes d'origen antròpic sobre el medi hidrològic. A Catalunya, aquest estudi ha estat desenvolupat per l'Agència Catalana de l'Aigua i ha donat lloc al document IMPRESS (ACA, 2005). En termes generals, les causes principals que originen pressions i impactes sobre el medi hidrològic són les derivades de la contaminació per fonts puntuals o difuses, per l'explotació dels recursos hídrics superficials (derivacions de cabal) o subterranis (explotació intensiva d'aqüífers), i per modificació de la dinàmica hidromorfològica de les masses d'aigua superficials. Les conseqüències (impactes) d'aquestes causes (pressions) són alhora susceptibles als efectes del canvi climàtic.

Les pressions sobre el medi hidrològic fan referència, principalment, a les accions que afecten la quantitat i la qualitat del recurs aigua i, a més, als seus estats ecològic, físicoquímic o hidromorfològic (ACA, 2005). Per a les masses d'aigua superficials, les principals pressions corresponen a aquelles que alteren el règim de cabals dels rius, ja sigui per captació d'un percentatge del cabal, per l'alteració hidrològica que originen els embassaments o per la derivació d'una part del cabal cap a centrals hidroelèctriques, de vegades concedides amb independència del règim hidrològic dels rius i de les seus requeriments ecohidrològics. Les afeccions a la qualitat són d'origen divers: inclouen abocaments procedents d'àrees urbanes, amb sanejament o sense, abocaments industrials, excedents de fertilitzants (especialment nitrogen) a causa d'activitats agrícoles i ramaderes i, finalment, les activitats mineres o extractives d'àrids i, com a cas especial, la influència de runams salins a la conca del Llobregat i del Cardener. Les alteracions hidromorfològiques associades a preses i assuts i a l'endegament de lleres fluvials són tipologies de pressió que afecten l'estat hidrològic de les masses d'aigua superficial i poden tenir, alhora, incidència amb el recurs aigua; per exemple, modificant la relació hidrològica entre rius i aqüífers. La integració de les diferents pressions en les masses d'aigua superficial continentals (rius) s'expressa en la figura 1. Per a cada conca, o subconca, s'han avaluat el conjunt de

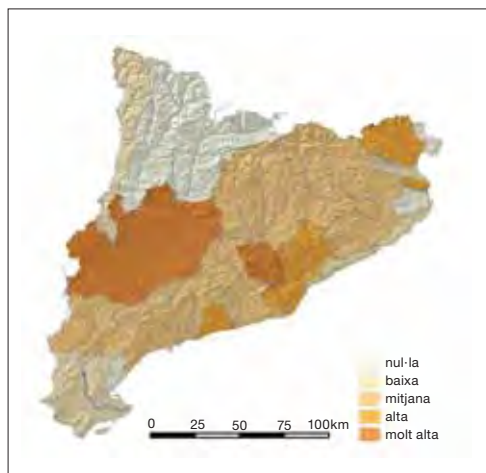


Figura 1. Categoria de les pressions en les masses d'aigua superficials (rius) de Catalunya, segons dades d'ACA (2005). El valor de la categoria correspon a una mitjana qualitativa de la magnitud dels diferents impactes identificats en el document IMPRESS per a cada segment de xarxa fluvial. En aquesta cartografia s'han integrat les masses d'aigua de la xarxa fluvial en conques o subconques hidrogràfiques.

tipologies de pressió per a cartografiar un únic valor que representés el territori de cada tram fluvial. La categoria resultant reflecteix el nivell de pressió definit al document IMPRESS.

Per a les masses d'aigua subterrània, les pressions sobre la quantitat del recurs estan associades a les extraccions de recursos hidrogeològics dels diferents sistemes aqüífers i la seva relació amb la recàrrega (figura 2). La categoria de pressió cartografiada correspon a una mitjana entre les diferents tipologies de pressió que consten en el document IMPRESS, atorgant una ponderació major a la captació d'aigua en relació amb altres pressions. Pel que fa a la qualitat, es consideren com a pressió tots els possibles tipus de fonts de contaminació, i s'atorga una ponderació major a les pressions corresponents a l'activitat agrícola intensiva i a les dejeccions ramaderes, a la intrusió marina a les zones litorals i a la presència d'abocaments industrials i sòls contaminats en relació amb les altres possibles pressions (figura 3). És especialment rellevant la casuística dels aqüífers litorals en els quals l'extracció d'aigua subterrània ha contribuït a l'extensió de la intrusió marina; la qual, en moltes ocasions ha produït una significant pèrdua de la qualitat (Custodio, 2002, 2009) i, en conseqüència, a portat a variar

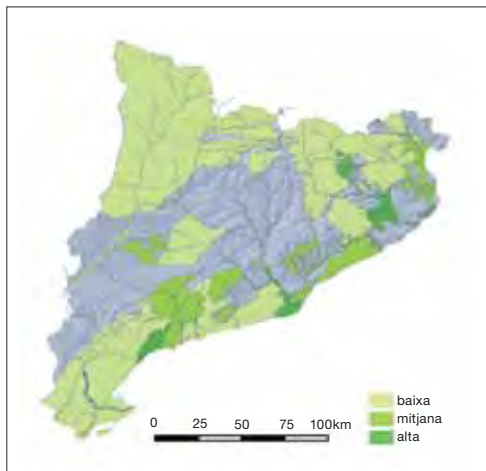


Figura 2. Categoria de les pressions en l'estat quantitatiu de les masses d'aigua subterrànies de Catalunya, segons dades d'ACA (2005). El valor de la categoria representat correspon a una mitjana qualitativa ponderada de la magnitud dels diferents impactes identificats en el document IMPRESS per a cada massa d'aigua subterrània (vegeu el text).

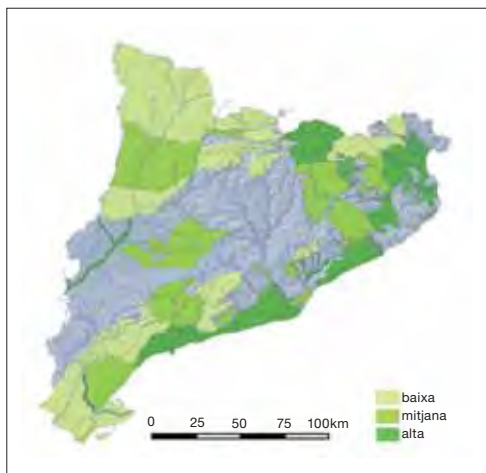


Figura 3. Categoria de les pressions en l'estat qualitatiu de les masses d'aigua subterrànies de Catalunya, segons dades d'ACA (2005). El valor de la categoria representat correspon a una mitjana qualitativa ponderada de la magnitud dels diferents impactes identificats en el document IMPRESS per a cada massa d'aigua subterrània (vegeu el text).

la font de subministrament mitjançant transvasaments, sovint des d'altres conques hidrogràfiques, o amb importants inversions en la regeneració de recursos alternatius i en dessalinització d'aigua marina.

Aquesta anàlisi ha dut a la definició i a la jerarquització de problemàtiques associades al compliment dels objectius de la DMA (ACA, 2008), referents a la preservació del medi hidrològic i a la possibilitat de satisfer l'abastament humà i les funcions ecohidrològiques. Les problemàtiques més rellevants arreu del territori català són, per ordre jeràrquic, les extraccions d'aigua i la regulació del cabal, les alteracions del règim de cabal per aprofitament hidroelèctric, la contaminació associada a diferents orígens (industrial o agrícola i ramader) o a insuficiències en el sanejament de les aigües residuals urbanes; i les alteracions morfològiques dels marges fluvials i de zones humides. Aquestes estan relacionades amb els efectes dels factors climàtics, com s'exposa en els apartats següents.

8.4. Anàlisi dels impactes sobre el cicle hidrològic en el context de canvi climàtic

8.4.1. Factors climàtics, factors no climàtics o antròpics, i vulnerabilitat

Un dels possibles errors en considerar els efectes del canvi climàtic en els recursos hidrològics és deslligar-lo dels processos antròpics que també afecten el cicle de l'aigua, especialment l'ús del sòl que determina els escenaris socioeconòmics que, localment, poden ser la causa d'impactes significants (Holman, 2006). Ja és ben reconegut en els informes de l'IPCC (2001, 2007) que l'alteració dels règims hidrològics per a satisfer la demanda antròpica pot causar un impacte més elevat que una situació de menor disponibilitat de recursos. Meybeck i Vörösmarty (2004) suggereixen que l'impacte global de la intervenció humana en el cicle continental de l'aigua, mitjançant el canvi d'usos del sòl, la urbanització, la industrialització i l'explotació dels recursos hidrològics, serà probablement més intens que l'atribuïble al canvi climàtic pròpiament dit.

En l'àmbit local, doncs, l'empremta humana en els recursos d'aigua, definida pel conjunt de les pressions esmentades, és paral·lela a la petja del canvi climàtic. Ambdues contribueixen als impactes, és a dir, a les alteracions dels sistemes hidrològics causades per diverses pressions que actuen simultàniament, que modificaran la

capacitat d'aquests sistemes de proveir aigua per a les funcions d'abastament humà i ecohidrològiques. En aquest sentit, les pressions originades per variacions de temperatura i precipitació (com a variables més generals) associades al canvi climàtic generaran uns impactes específics que, alhora, influencien la magnitud dels impactes derivats de les pressions antròpiques. L'efecte d'aquesta xarxa d'interaccions en l'estat del medi hidrològic serà en funció de la seva vulnerabilitat (figura 4).

La implementació de la DMA ha permès reconèixer a través del document IMPRESS (ACA, 2005) el conjunt de pressions i impactes que afecten els recursos hidrològics a Catalunya. Constitueix, doncs, una radiografia de l'estat actual del medi hidrològic i de la seva possibilitat d'assolir els objectius de la directiva en els terminis determinats. Una de les principals aportacions d'aquest document ha estat reconèixer, en l'estat actual del medi, els factors antròpics (altrament anomenats *pressions* en el context de la DMA o *factores no climàtics* segons la terminologia de l'IPCC), els quals constitueixen, a escala de gestió local de l'ús del recurs aigua, una variable important en el procés d'adaptació al canvi climàtic. L'actual gestió en el marc de la DMA ja incorpora implícitament propostes d'adaptació basades en l'optimització del recurs aigua en un context de variabilitat hidrològica. L'adaptació als impactes originats per factors climàtics i la correcció dels corresponents als factors antròpics seran els reptes més rellevants en la gestió de l'aigua en l'horitzó del segle XXI.

El concepte de vulnerabilitat apareix explícitament en el darrer informe de l'IPCC com a aspecte clau en la gestió dels recursos (IPCC, 2007). Aquest text fa un especial èmfasi en la vulnerabilitat dels recursos hídrics en zones semiàrides, atès que les precipitacions i els increments de cabal als rius es concentren estacionalment i presenten una forta variació interanual. Alhora, considera que, en tant que la vulnerabilitat associada a factors climàtics té un abast global (amb diferent signe segons la regió; però clarament negatiu a la Mediterrània occidental), els factors no climàtics associats a l'ús de l'aigua i a la seva gestió també estaran afectats, d'una manera o altra, pel canvi climàtic.

8.4.2. Impactes en els recursos hidrològics associats als factors climàtics

És conegut que, actualment, diversos sistemes hidrològics ja evidencien en la seva dinàmica els efectes de la variabilitat hidrològica associada al canvi climàtic (IPCC, 2007; EEA, 2008; entre altres). No obstant això, la descripció dels possibles impactes d'aquests factors climàtics sobre els recursos hidrològics només es pot fer com a predicció, partint del coneixement de les dinàmiques hidrològiques, tant en superfície com en el subsòl, i la interpretació o, quan és possible, la modelització d'aquestes dinàmiques, en el context local precís, permet entreveure l'abast de les pressions; és a dir, la magnitud real de l'impacte.

Amb aquesta finalitat, l'Agència Catalana de l'Aigua i la Fundació Nova Cultura de l'Aigua realitzaren un estudi de diagnòstic dels impactes

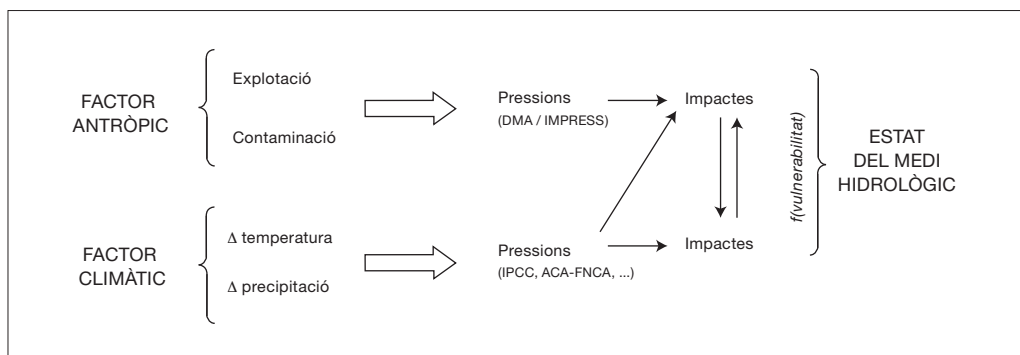


Figura 4. Relacions entre els factors antròpics (no climàtics) i els factors climàtics considerats en l'anàlisi de la vulnerabilitat territorial referents a les pressions i impactes en l'estat del medi hidrològic.

del canvi climàtic sobre els recursos hídrics previstos a Catalunya (ACA-FNCA, 2009). Aquest estudi s'estructura en quatre seccions: els escenaris climàtics, els impactes hidrològics, els impactes sobre el medi aquàtic i les implicacions socioeconòmiques a l'entorn del sector de l'aigua. En aquest apartat se sintetitza la contribució d'aquesta obra referida a l'impacte hidrològic derivat dels *factores climàtics*; i s'hi aporta una predicció dels canvis potencials de la dinàmica hidrològica segons els pronòstics de variabilitat climàtica.

Així, s'admet que el canvi climàtic comporta implícitament una alteració del cicle hidrològic en tots els seus components i es constata amb certesa que, a Catalunya, ateses les prediccions dels models climàtics, tindrà lloc una disminució de la quantitat d'aigua disponible en rius i aqüífers que, finalment, defineix la disponibilitat d'aigua que satisfà els processos ecohidrològics i la demanda humana.

L'anàlisi de les prediccions climàtiques en clau hidrològica permet definir aquesta tendència a la pèrdua de recursos hidrològics, malgrat la complexa idiosincràsia de les conques de Catalunya. En termes generals, els recursos d'aigua superficials i subterranis, l'evolució dels usos del sòl (especialment la variació de la massa forestal) i les pressions antròpiques actuen com a elements interrelacionats, indissociables, en el context del cicle hidrològic. D'aquesta manera, les alteracions que produeixin les variacions climàtiques, tot i que seran analitzades sectorialment per a cada un dels components del cicle, seran complexes i amb vincles entre aquests factors.

Quant als cabals de les conques hidrogràfiques, l'estudi estadístic rigorós de les sèries de cabals conclou un descens versemblant (és a dir, amb 66-90% de confiança) dels cabals climàtics en el període 1940-1997, tant a les conques internes com a la conca de l'Ebre (Gallart, 2009). En aquesta anàlisi es corrobora l'efecte del clima en el descens del cabal; si bé l'augment dels regadius i els canvis a les capçaleres, concretament l'augment de l'evapotranspiració associat a l'increment de la cobertura forestal, també tenen un paper important en la disminució del cabal superficial dels rius amb un grau de confiança superior al 99%.

Atesa la importància de l'evapotranspiració en el balanç hidrològic, els boscos tenen un paper rellevant en tant que el canvi climàtic en modificarà l'estructura i les seves funcions biològiques, afectarà la producció de biomassa i, conseqüentment, la captura de recursos d'aigua. La modelització de les noves condicions que el canvi climàtic imposarà als ecosistemes, utilitzant el model GOTILWA+, permet analitzar la resposta dels boscos en relació amb el balanç hidrològic (Sabaté, 2009). A grans trets, l'augment de la temperatura implica més demanda evaporativa i respiració; per la qual cosa, cal més aigua per a mantenir la producció de biomassa. Aquesta dinàmica biològica comporta una reducció de les reserves d'aigua al sòl i de la recàrrega. Finalment, un canvi progressiu en l'estructura forestal pot produir diverses afeccions al cicle hidrològic; per exemple, un augment de la torrencialitat i, per tant, el risc d'inundacions a les planes al·luvials del curs mitjà i baix dels rius.

La modelització dels processos hidrològics aporta una estimació quantitativa de les alteracions al cicle hidrològic. En particular, el règim d'aigües superficials mostrarà una reducció de les aportacions mitjanes d'un 10 a un 25% en les àrees mediterrànies, com a valoració general, i de fins a un 16% a les conques internes i de l'Ebre (Manzano, 2009a). En un àmbit local, els diferents exercicis de simulació en diferents conques pilot de Catalunya per a l'horitzó 2070-2100, basats en previsions climàtiques determinades per augment de temperatura i disminucions de precipitació fixes, o bé en les sèries climàtiques diàries del projecte PRUDENCE, mostren una variació de les aportacions del règim de cabals (generalment negatives i associades a un increment de l'evapotranspiració) amb percentatges molt variables (entre 3,5 i -51,7%), que cal interpretar amb cautela pel fet de correspondre a prediccions a llarg termini i pel model climàtic específic en què es basen. Aquests resultats són orientatius i difícilment aplicables a horitzons de temps propers i a conques concretes, a causa de la mateixa incertesa dels règims pluviomètrics previstos. Si bé les tendències són coherents entre els diferents models emprats, la modelització hidrològica és una eina que permetrà valorar les implicacions del canvi climàtic en la gestió

hidrològica a mesura que augmentin les observacions i la qualitat de les prediccions climàtiques per al segle XXI.

Pel que fa als recursos subterranis, el balanç hidrològic de l'aigua al sòl permet estimar la recàrrega dels aqüífers un cop quantificats els altres components del cicle hidrològic (Ortuño *et al.*, 2009). La modelització d'aquest procés ha permès estimar el percentatge de recàrrega segons les prediccions climàtiques a partir del calibratge del règim hidrològic basat en dades històriques i l'evolució piezomètrica en tres zones considerades poc influenciades per les extraccions humanes i que reflecteixen, per tant, les condicions naturals del balanç. Aquest exercici conclou que la recàrrega disminuirà en el període 2071-2100 en un 25% de mitjana com a conseqüència d'una menor pluviometria i de l'augment de l'evapotranspiració i l'escorriment superficial. Aquest darrer factor està relacionat amb una concentració més elevada dels períodes de precipitació que modifica el règim hidrològic i l'eficiència en la infiltració. Els resultats apunten a una pèrdua del cabal de base dels rius, associat a l'assoliment del bon estat ecològic.

Les variacions de temperatura i precipitació degudes al canvi climàtic modificaran els patrons de comportament químic de determinats contaminants, la dinàmica de transport i l'evolució dels contaminants en el medi hídic (Grimalt i Ginebreda, 2009). Els canvis atmosfèrics globals poden influir en la qualitat de l'aigua en l'àmbit local. Per exemple, la temperatura influeix en els processos de volatilització que, en el cas dels composts organoclorats persistents, genera un efecte de destil·lació global i augmenta la seva presència a l'atmosfera. Els sediments dels llacs del Pirineu han assolit concentracions estables d'aquests composts des que van començar a emprar-se de manera habitual a mitjan segle XX, la qual cosa denota la rellevància del transport aeri i de la seva persistència en el medi hídic i, per extensió, en el medi biòtic. Alguns focus puntuals d'aquests composts, com ara els sediments de Flix, constitueixen un element de risc per a la salut humana. En aquests casos de contaminació puntuals, l'augment de temperatura incrementaria la capacitat de volatilització i d'expansió aèria d'aquests composts volàtils. Altres contaminants,

com els hidrocarburs aromàtics, estan associats a l'ús de combustibles fòssils. Conseqüentment, la seva concentració està lligada a millora dels processos de combustió i a l'ús d'energies renovables. Addicionalment, el control de la solubilitat dels composts químics en funció de la temperatura pot agreujar l'anòxia a les aigües superficials, atès que la dissolució de l'oxigen és inversament proporcional a la temperatura, i això dona lloc a condicions d'eutrofització.

La tendència decreixent de la precipitació podria ocasionar una menor entrada dels contaminants residents a l'atmosfera al cicle de l'aigua. D'altra banda, però, un augment de les riuades (en magnitud i freqüència) augmentaria l'arrossegament i la dissolució de composts acumulats, en facilitaria la resuspensió i el transport, i finalment la seva presència a les aigües superficials. Aquest efecte s'ha observat al riu Llobregat, on les grans avingudes solen presentar major conductivitat atès que la dissolució de sal en superfície compensa l'efecte de dilució per augment de cabal. Una observació similar té lloc a l'Ebre, on l'arrossegament dels sediments contaminats de Flix produeix un augment de la concentració dels diferents contaminants que contenen.

La magnitud i freqüència dels fenòmens extrems (inundacions i sequeres) és una de les conseqüències de l'augment de variabilitat que comporta el canvi climàtic (Manzano, 2009b). L'augment de la temperatura implicarà un augment del 10% dels dies secs respecte al clima actual. En el cas de la precipitació, els models no ofereixen una reducció clara de la pluviometria mitjana però adverteixen d'una concentració dels dies de pluja i d'un augment de la intensitat d'aquesta pluja. Ambdues modificacions intraanuals del cicle s'associen a un increment de la probabilitat de patir fenòmens extrems. Interanualment, les simulacions a la Muga i al Francolí mostren que les aportacions d'una determinada periodicitat es reduiran al llarg del segle XXI, en especial, les corresponents als anys secs. Amb relació a les sequeres, cal ésser prudent per distingir entre les tendències associades al clima i l'existència d'anys secs amb la normalitat esperada. Amb tot, les estimacions alerten sobre el possible increment de períodes secs, si bé en l'àmbit català els diferents models no ofereixen

una tendència clara i aquest increment només seria significatiu per a horitzons a llarg termini (2070). Amb la meteorologia complexa pròpia del clima mediterrani, els aiguats a Catalunya amb magnitud corresponent a períodes de retorn entre 50 i 100 anys podrien augmentar notablement tant la freqüència com els cabals punta.

L'ascens del nivell del mar a Catalunya augmentarà la vulnerabilitat dels sistemes litorals (Mas-Pla i Ortuño, 2009). La modelització d'aquest efecte al delta del Llobregat, associat a una disminució de la recàrrega, mostra una evolució de la falca salina cap al continent i un notable increment de la concentració de clorur a l'aigua subterrània.

La gestió de l'aigua ha de reflectir els impactes sobre els recursos hidrològics, atès que els horitzons de futur comporten una reducció del volum de les aportacions esperades, un increment dels riscos i uns efectes sobre els usos del territori (Molist i Manzano, 2009). El nou model de gestió en l'horitzó de 2027 implica un increment de l'abastament relacionat amb l'augment demogràfic, comptant, però, amb una major eficiència en l'ús i distribució del recurs. Els volums addicionals es satisfaran amb la construcció de plantes dessalinitzadores, la recuperació d'aqüífers i el foment de la reutilització. Malgrat que els models de distribució actuals de l'aigua seran vàlids encara a mitjà termini, amb excepció dels anys secs, les prediccions derivades del canvi climàtic podrien arribar a afectar crònicament l'eficiència del sistema.

8.5. Anàlisi de la vulnerabilitat territorial al canvi climàtic

Com s'ha exposat en els apartats precedents, l'anàlisi de la vulnerabilitat comprèn la valoració de les diferents pressions i dels impactes sobre els recursos hídrics i la seva qualitat, i també inclou la manera com cada conca pot adaptar-s'hi en funció de la seva idiosincràsia hidrològica i de la demanda actual. El context de canvi climàtic condiona els esforços de gestió per les properes dècades, de manera que l'exercici de valorar com les pressions climàtiques modifiquen els efectes de les pressions antròpiques ja existents complementa la tasca de planificació. Les pressions actuals estan associades a un desenvolupament

socioeconòmic amb tendència al creixement en el qual l'aigua no s'ha considerat explícitament, fins ara, com un factor limitant.

L'exercici que es proposa per a descriure la vulnerabilitat de les diferents conques hidrogràfiques de Catalunya es basa en la consideració conjunta de les alteracions de la dinàmica hidrològica atribuïbles al canvi climàtic, de les pressions humanes ja identificades i de les característiques hidrològiques de cada conca. Així, les alteracions més influents del canvi climàtic sobre els recursos hidrològics que es consideren són la variació del cabal dels rius, la variació de la recàrrega dels aqüífers, i les pertorbacions en el quimisme de rius i aqüífers, com a síntesi de la diagnosi realitzada per ACA-FNCA (2009).

La metodologia d'aquesta anàlisi de la vulnerabilitat consisteix, doncs, a identificar la magnitud d'aquestes alteracions associades al canvi climàtic per determinar com afecten les pressions antròpiques damunt dels recursos hídrics. Posteriorment, se n'avaluen les conseqüències o, amb altres mots, l'impacte total resultant i es determina quines masses d'aigua, o conques hidrogràfiques, són més susceptibles a aquestes pressions.

8.5.1. Vulnerabilitat territorial associada a la variació del cabal dels rius

8.5.1.1. Efectes dels factors climàtics

Les raons per les quals es preveu una disminució de les aportacions d'aigua en forma de cabal superficial són diverses i es lliguen a distintes causes relacionades amb el canvi climàtic. El decreixement anual de la precipitació i l'augment anual de l'evapotranspiració (tant per l'augment de la temperatura com per un increment de la massa forestal) fan preveure la pèrdua de cabal superficial als rius i, conseqüentment, del volum de recurs disponible.

Així, la modelització de les variacions de les aportacions superficials a diversos rius catalans sol resultar amb disminucions del cabal superficial, amb diversos percentatges en funció dels escenaris climàtics i dels models conceptuals utilitzats. Les disminucions de cabal, amb una alta repercussió del component evapotranspiratiu, poden considerar-se factibles en l'ordre del 5%

en l'horitzó de 15 a 20 anys (Manzano, 2009a). Des d'una perspectiva causal, l'anàlisi de cabals anuals no mostra efectes clars de tendències negatives lligades al clima, exceptuant el cas de l'Ebre i l'efecte del desglaç als rius amb capçaleres a l'alt Pirineu. En canvi, les tendències negatives dels cabals residuals (cabals observats - cabals climàtics) cal atribuir-les a l'augment de l'evapotranspiració per canvis en la cobertura vegetal (Gallart, 2009).

8.5.1.2. Pressions sensibles als canvis dels factors climàtics i impactes derivats

Les principals pressions que condicionen l'estat hidrològic dels rius associades a la variació del règim del seu cabal són la captació d'aigua de la llera i la seva derivació per a l'abastament humà i l'aprofitament hidroelèctric. En la tasca de satisfer les demandes humana i ecohidrològica, aquestes pressions actuen localment, fan disminuir el cabal a partir del punt de captació, limiten la disponibilitat d'aigua en els trams inferiors immediats i disminueixen la possibilitat de disposar dels volums adequats per a altres necessitats. Per tant, la disminució dels cabals en un futur potenciarà els efectes d'aquesta pressió, i generarà conflictes entre els cabals necessaris per a satisfer la demanda i els actualment concedits als diferents usuaris, com també per a proporcionar un entorn ecològic adequat.

L'impacte a les necessitats hidrològiques és molt diferent en funció de l'entorn territorial i la capacitat d'emmagatzemar el recurs, atès que no tan sols cal tenir en compte l'aportació anual, sinó també la variabilitat estacional. Els embassaments, com a elements de regulació del recurs de l'emmagatzemament i del cabal de sortida, tindran un rol determinant en la minimització de l'impacte i en la preservació del recurs.

L'afecció serà, doncs, tant en la disponibilitat d'aigua com en la producció d'energia, i tindrà més repercussió en punts localitzats, especialment en zones de muntanya, allunyades de les grans infraestructures de transvasament i distribució de l'aigua entre conques. En aquests indrets, la captació d'aigua per al consum i la producció elèctrica de les minicentrals d'abast local, tant per a la indústria com per al consum urbà, depenen de la disponibilitat d'aigua als rius.

La disminució del cabal superficial dels rius és l'impacte més significatiu amb relació a l'estat ecològic de les zones de ribera i zones humides continentals. Aquests ecosistemes estan sustentats pel bescanvi hidrològic que té lloc entre les aigües superficials i subterrànies, a través del que es coneix per la relació riu-aquífer. En èpoques seques, o d'escassa precipitació, el cabal superficial és aportat bàsicament des dels aquífers en forma de flux de base; és a dir, la contribució de l'aigua subterrània al cabal del riu és fonamental per a la preservació d'aquests entorns naturals. En períodes plujosos, és el riu el que recarrega l'aquífer, si bé aquesta situació és temporalment breu.

No obstant això, en àrees desenvolupades, on la captació d'aigua subterrània és habitual, el descens del nivell freàtic originat pel bombeig altera la relació riu-aquífer i força una pèrdua de cabal superficial en benefici de la recàrrega dels recursos subterranis dels aquífers lliures. Aquesta és la causa per la qual, actualment, els cursos baixos de la majoria dels rius catalans no presenten cabal des del maig fins, sovint, a l'octubre. En una situació futura de minva de recursos, cal esperar que s'incrementi la captació tant d'aigua superficial com d'aigua subterrània per a satisfer la demanda antròpica local. D'aquesta manera, l'efecte climàtic associat a la disminució del cabal posarà en risc tant l'abastament basat en el recurs superficial com el que es basa en l'extracció de l'aigua subterrània, atès que hi mancarà el cabal que anteriorment s'infiltrava induït per les extraccions existents.

Amb aquesta pressió conjunta damunt dels recursos superficials i subterranis, la funció dels embassaments en els rius catalans com a eina per a la gestió de l'emmagatzemament del recurs i de regulació dels cabals superficials és un element interessant per atenuar els potencials impactes sobre l'estat hidrològic de les masses d'aigua superficials i els aquífers relacionats i, per extensió, preservar l'estat ecològic d'aquest entorn.

8.5.1.3. Vulnerabilitat territorial

L'impacte de la variació del cabal dels rius en l'abastament antròpic i en les funcions ecohidrològiques tindrà lloc, especialment, en aquelles masses d'aigua superficial (rius) en què la deri-

vació de cabal sigui la principal font de subministrament. Així, les conques hidrològiques amb amplies zones de regadiu alimentades per canals, per la transcendència socioeconòmica de l'activitat agrícola, notaran amb més intensitat la disminució de cabal predita a mitjà termini pels models hidrològics. Les zones de regadiu al Segrià, l'Urgell, la Segarra i les Garrigues depenen dels rius pirinencs i, principalment, de la correcta gestió dels embassaments i sistemes de distribució que garanteixen l'aigua al sistema de canals a la depressió central catalana. Altres comarques amb una forta activitat agrícola, com són les zones corresponents a les planes fluvials del Ter, del Fluvià, o de la Muga, depenen de recursos superficials i el reg es complementa amb l'extracció de recursos subterranis. Els casos concrets dels regadius del Baix Ter i de la Muga estan limitats per la gestió dels embassaments de Sau i Susqueda, a la conca del Ter, i Boadella, a la conca de la Muga; els quals, en el darrer període de sequera, van arribar a una situació compromesa per a satisfer la demanda agrícola atesa la derivació preferent de l'aigua d'aquests embassaments cap a usos urbans.

Els regadius del delta de l'Ebre constitueixen un cas excepcional en el qual la variabilitat del règim de cabal al canal principal del riu comporta la mobilitat de la falca marina. La disminució del cabal a la part baixa de la conca (condicionada a la gestió de tots els embassaments existents aigües amunt) seria causa de greus alteracions hidrològiques i ecològiques en la temptativa de satisfer les necessitats agrícoles amb l'actual sistema d'irrigació.

L'abastament urbà amb aigües superficials a Catalunya és de l'ordre del 60%. En el cas de les conques internes, la major part de les zones metropolitanes —Barcelona i el seu cinturó urbà, Girona-Costa Brava i Tarragona— depenen dels transvasaments dels rius Ter, Llobregat i Ebre, que dibuixen un complex sistema de distribució. En el cas del sistema Ter-Llobregat, la dependència dels embassaments alimentats per rius de procedència pirinenca ja ha estat provada en els períodes de sequera dels darrers anys, especialment el corresponent als anys 2006-07. En aquest cas, i en el context del canvi climàtic, el risc d'una disminució crítica dels recursos em-

magatzemats radica tant en la disminució de les captacions superficials com en la seva variació interanual; és a dir, en la freqüència dels períodes de sequera.

La garantia de subministrament a les grans zones urbanes a través de la xarxa d'embassaments està condicionada, d'una banda, a l'impacte en l'abastament d'altres activitats a la conca alta i, de l'altra, a assegurar el cabal necessari per a satisfer la demanda a la conca baixa. Reprenent el cas del sistema Ter-Llobregat, i més concretament pel que fa a la conca del Ter, les entrades als embassaments de Sau i Susqueda depenen de l'ús urbà i industrial de l'aigua a la conca alta i mitjana del Ter (el Ripollès i Osona) i les sortides han de preservar els regadius dels trams baix i mitjà del Ter, així com el cabal de manteniment establert. En termes generals, l'assignació del recurs per al subministrament metropolità, sovint considerat prioritari, està lligat al total de la demanda arreu de la conca. Accions puntuals com la planta dessaladora del Baix Llobregat disminueixen la pressió general sobre les conques donants.

En un altre context, cal considerar aquelles poblacions petites i mitjanes que s'abasteixen, quasi exclusivament, a partir de recursos superficials amb repeses i derivacions, tant en àrees de muntanya com a la depressió central. La resposta dels cabals superficials als canvis climàtics és incerta, atesa la poca superfície de moltes d'aquestes conques hidrogràfiques; la qual cosa implica que el control dels usos del sòl pot ésser determinant en la preservació del cabal de base dels rius; és a dir, aquell cabal superficial proveït per les aigües subterrànies. En qualsevol cas, és viable predir una disminució del recurs. La vulnerabilitat territorial quedarà compensada si hi ha masses d'aigua subterrània que puguin contribuir a satisfer la demanda.

La variació de la vulnerabilitat territorial dels recursos hidrològics deguda a la disminució del cabal superficial originada per factors climàtics a les diverses conques i subconques de Catalunya es mostra en la figura 5. La valoració de l'increment de la vulnerabilitat —en aquesta cartografia i en les següents— s'ha determinat qualitativament en funció de les característiques hidrològiques del territori, de la resposta esperada a les

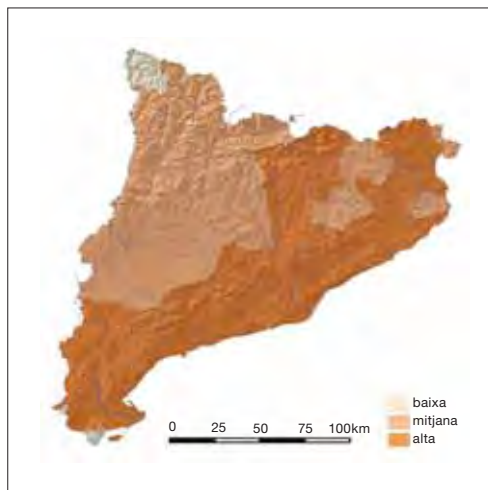


Figura 5. Cartografia de les conques o subconques hidrogràfiques, segons la variació de la vulnerabilitat de les masses d'aigua superficials a les pressions sobre el medi hidrològic per disminució del cabal superficial associada a factors climàtics.

futures condicions climàtiques i de les pressions que actualment s'hi han reconegut. La consideració conjunta d'ambdues pressions, climàtiques i antròpiques, permet catalogar les diferents conques en funció de l'alteració que el canvi climàtic produirà en els sistemes hidrològics i del seu potencial per assolir els objectius de la DMA. La variació de la vulnerabilitat s'ha catalogat en tres categories: baixa, mitjana i alta; de manera que, per exemple, una variació baixa indica que l'efecte del canvi climàtic serà petit. Per tant, la vulnerabilitat territorial també és baixa; és a dir, els impactes associats a les pressions en aquesta zona no s'incrementaran notablement per efecte del canvi climàtic.

Segons la figura 5, les conques, o subconques, amb major variació de la vulnerabilitat se situen al sistema mediterrani, on hi haurà un augment de la demanda i una major dificultat en la regulació del cabal dels rius per a satisfer els diferents usos: abastament, producció hidroelèctrics, cabals de manteniment... L'increment de la vulnerabilitat associada al canvi climàtic es preveu menor a la xarxa fluvial associada als relleus del Pirineu i Prepirineu, situats a la conca de l'Ebre.

L'existència de recursos subterranis serà una alternativa, en forma d'ús conjunt, a la captació

d'aigua superficial. Quan aquests recursos subterranis s'ubiquin en aqüífers al·luvials, formats per dipòsits sedimentaris fluvials o fluviodeltaics, la seva disponibilitat estarà determinada pel balanç hidrològic entre el riu i l'aqüífer. Atès que molts aqüífers ja presenten actualment un règim d'explotació intens, difícilment es pot comptar amb altres recursos addicionals per a un futur escenari de necessitat hídrica. Tanmateix, la seva contribució al cabal de base és imprescindible per, com a mínim, l'assoliment de les funcions ecohidrològiques i, conseqüentment, representen només una alternativa limitada. Un exemple paradigmàtic és el cas dels aqüífers al·luvials de la conca de la Tordera, en els quals l'explotació dels recursos subterranis genera la infiltració de la major part del cabal superficial. Aquesta pressió comporta que el flux de base per part d'aquests al·luvials sigui pràcticament nul i que la llera estigui seca a gran part del curs baix del riu. Una important contribució al cabal de la Tordera procedeix d'aigua regenerada procedent de les estacions de tractament d'aigües residuals i les indústries (Mas-Pla i Menció, 2008). Com en molts altres rius, la regeneració d'aigües residuals representa una contribució notable al cabal del riu que, en condicions d'explotació intensiva, implica un nou aprofitament del recurs que permet satisfer, ni que sigui parcialment, les funcions ecològiques.

Les masses d'aigua subterrànies que variaran la seva vulnerabilitat per la disminució del cabal superficial originada per factors climàtics es mostra en la figura 6. El major efecte es relaciona amb aquelles masses en què la relació riu-aqüífer és significativament en la recuperació dels recursos subterranis, ja sigui en zones litorals o en petits aqüífers al·luvials interiors al llarg de la Tordera, el Llobregat o el Segre, entre altres. La possibilitat que l'explotació dels recursos s'orienti a les aigües subterrànies, atesa la menor disponibilitat de recursos, condiciona el grau de vulnerabilitat.

Finalment, la variació del cabal superficial dels rius afectarà també la producció d'energia hidroelèctrica, especialment a les minicentrals situades als rius pirinencs de la conca de l'Ebre, així com en els trams industrials del Llobregat, la part alta i mitjana del Ter i diversos punts del

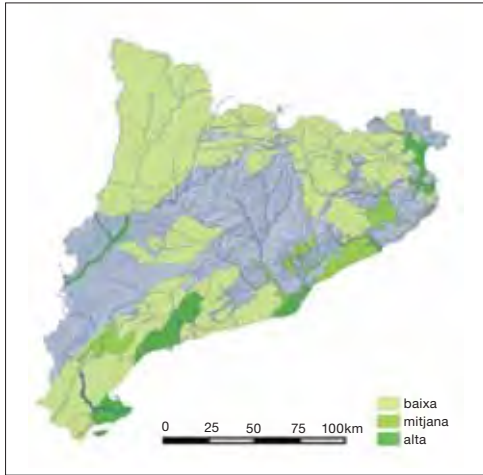


Figura 6. Cartografia de les masses d'aigua subterranies segons la variació de la seva vulnerabilitat a les pressions sobre el medi hidrològic per disminució del cabal superficial associada a factors climàtics.

riu Fluvià. La pressió de les derivacions per a minicentrals ha estat considerada una de les problemàtiques greus en l'assoliment dels objectius de la DMA per tal com la derivació de cabal és responsable de l'existència de trams secs en rius de muntanya. En el futur, les concessions atorgades a les minicentrals competiran, encara amb major repercussió, amb altres demandes d'aigua i amb les funcions ecològiques; i generaran un enfrontament entre la producció energètica i l'abastament hídric.

8.5.2. Vulnerabilitat territorial associada als efectes de la recàrrega dels aqüífers

8.5.2.1. Efectes dels factors climàtics

A l'equació del balanç hídric, a grans trets, la recàrrega és el resultat de la diferència entre la precipitació, l'evapotranspiració i l'escorriment superficial. És evident que la seva magnitud estarà relacionada amb els efectes del canvi climàtic, atès que variacions de precipitació i de temperatura (com a variable determinant del valor de l'evapotranspiració) la influencien directament. La quantificació de la recàrrega és, doncs, un càlcul indispensable per a valorar la quantitat de recursos subterranis disponibles —podem dir-ne renovables— en un període de temps determinat.

Les estimacions de la variabilitat de la recàrrega es basen en el balanç hídric, o hidrometeorològic, efectuat en un terreny determinat, o bé en la seva contribució als models de flux subterrani que determinen la variació del nivell hidràulic i dels recursos d'aigua emmagatzemats a les formacions hidrogeològiques. Considerant el balanç hídric, el càlcul de la recàrrega equival al volum d'aigua infiltrat menys el que ha estat retintut al sòl formant part de l'aigua de retenció existent a la zona no saturada del subsòl. L'experiència esmentada en tres zones de Catalunya, calibrant els models de càlcul amb les respostes de la variació del nivell hidràulic, indiquen que, amb les previsions climàtiques esperades, la recàrrega es reduirà per disminució de la proporció d'aigua infiltrada a causa de l'augment de l'evapotranspiració i de l'escorriment superficial. El percentatge de reducció se situa, amb la incertesa associada a aquest tipus de prediccions, entre el 10% i el 30% per a l'horitzó temporal de 2071-2100 (Ortuño et al., 2009). Com s'ha comentat anteriorment, aquesta reducció de la infiltració també té repercussió en el cabal de base dels rius. Per tant, quan s'afirma que augmentarà l'escorriment superficial es vol dir que un percentatge més alt de la precipitació apareixerà durant els períodes de pluja com a cabal als rius, si bé les aportacions superficials anuals seran previsiblement menors per disminució de la precipitació total i per disminució del cabal de base aportat al riu des dels aqüífers al·luvials.

Aquesta estimació de la variació de la recàrrega és, per si mateixa, significativa en el còmput dels recursos hidrogeològics disponibles, però cal situar-la en el context espacial adequat. És a dir, hom ha d'esperar aquesta disminució dels recursos d'aigua subterrània en aquells sistemes hidrogeològics locals que tinguin com a principal font de recàrrega la precipitació directa en la seva superfície: aqüífers lliures ubicats en dipòsits geològics al·luvials, fluvials o fluviodeltaics, o en altres formacions superficials formades per materials no consolidats. Sovint aquest tipus d'aqüífers estan relacionats amb rius, amb els quals estableixen una relació influent o efluent en funció de l'estació de l'any i, sobretot, de la intensitat de l'explotació dels recursos subterranis. En altres paraules, aquest valor estimat de

pèrdua de recàrrega per a l'horitzó de 2100 serà efectiu en aquells aqüífers que depenen exclusivament de la recàrrega per precipitació directa i en aquells l'explotació dels quals no comporta una alteració del sistema de flux per captura de recursos emmagatzemats en altres formacions hidrogeològiques adjacents.

A una escala més gran, els sistemes hidrogeològics que constitueixen veritables aqüífers regionals, de caràcter confinat, amb una extensió de centenars de quilòmetres quadrats i amb diverses formacions geològiques i estructures tectòniques implicades, tindran una resposta molt més complexa a les variacions de la recàrrega. Òbviament, la recàrrega d'aquests sistemes hidrogeològics regionals també depèn de la precipitació a les zones de recàrrega. La infiltració també hi disminuirà en funció de factors orogràfics, geològics i de cobertura vegetal, però potser en percentatges incerts, diferents del rang esmentat. La resposta complexa a què es feia referència anteriorment està relacionada amb l'avaluació del recurs disponible i es basa en dues consideracions. La primera és que la resposta a una disminució de la recàrrega en el conjunt de recursos del sistema no serà immediata sinó a llarg termini, a causa dels grans volums d'aigua implicats i del baix ritme de transferència dels efectes en forma de moviment de la massa d'aigua (controlat per la relació entre la conductivitat hidràulica del medi i el seu coeficient d'emmagatzemament).

La segona consideració és que l'explotació d'aquests aqüífers confinats sol comportar una afecció a més d'una formació geològica amb un volum de recurs disponible molt gran i, en definitiva, l'impacte que causa una captació puntual en el conjunt del sistema serà, pel mateix volum d'extracció, molt menor que en el cas d'un aqüífer al·luvial, i fins i tot que en el cas d'un aqüífer en una formació fluviodeltaica.

En aquest sentit, l'anàlisi de la vulnerabilitat dels recursos subterranis a la variació de la recàrrega considerarà la tipologia hidrogeològica del sistema —concretament, el seu caràcter local o regional— i la repercussió d'aquesta característica en l'impacte sobre el recurs total disponible.

Finalment, en aquesta tendència de disminució de la recàrrega cal recordar el debat entre

conceptes d'*explotació segura* i *explotació sostenible* referides al còmput de la recàrrega en el conjunt de la disponibilitat d'aigua; la qual és motiu de discussió per part de nombrosos autors (Bredehoeft *et al.*, 1982; Bredehoeft, 1997, 2002; Sophocleos, 2000; Alley i Leake, 2004; Menció *et al.*, 2010; Devlin i Sophocleos, 2005; entre altres). Addicionalment, i en aquest context, també és convenient revisar el concepte de sobreexplotació amb relació a la quantitat, qualitat, valor econòmic i valor ecològic de l'aigua subterrània (Custodio, 2002).

8.5.2.2. Pressions sensibles als canvis en la recàrrega i impactes derivats

La pressió sobre els recursos d'aigua subterrània, en termes de quantitat, és la captació per a les activitats humanes. A Catalunya (ACA, 2002), l'aigua subterrània destinada a l'agricultura constitueix el 12% del total d'extraccions; però amb diferències significatives entre les conques internes (50%) i les conques de l'Ebre (4%). Amb relació a l'ús urbà, en el marc català, l'aigua subterrània abasteix un 27% (185 hm³/any) dels usos domèstics dependents de les xarxes municipals i un 85% (158 hm³/any) dels usos industrials, basats majoritàriament en fonts subterranies pròpies. La proporció d'aigua subterrània a les xarxes municipals de les conques internes és del 26% (159 hm³/any) i del 95% (149 hm³/any) a les fonts pròpies per a ús industrial; a les conques de l'Ebre, les proporcions són de 44% (26 hm³/any) i del 30% (9 hm³/any). És, doncs, evident que una disminució en la recàrrega determinarà el decreixement dels recursos disponibles; i que, amb el ritme d'extraccions actuals, podrà comprometre la recuperació dels nivells hidràulics amb el temps i, per tant, les reserves emmagatzemades al subsòl. En aquest exercici de comparació és oportú considerar que la recàrrega i els recursos disponibles disminuiran amb els percentatges predits per la simulació (Ortuño *et al.*, 2009) i que la demanda es mantindrà, o més previsiblement, augmentarà.

En aquestes circumstàncies, l'impacte dependrà del tipus d'aqüífer on s'exerceixi la pressió; és a dir, la captació d'aigua subterrània. En el cas dels aqüífers lliures, corresponents a sistemes hidrogeològics locals, la persistència del recurs em-

magatzemat dependrà de la relació entre els volums de recàrrega i d'extracció i, potser de manera més rellevant, de la freqüència dels períodes amb precipitacions abundants, atès que un seguit d'episodis plujosos elevats pot representar un augment important de l'aigua emmagatzemada en el subsòl. L'evolució del nivell freàtic a l'aqüífer del Rissac, en el sistema al·luvial del riu Daró, en el període de 1990 fins a 2010, mostra l'afecció del període de sequera 1997-2002 i, més recentment, del període 2007-2008 (figura 7). El descens progressiu del nivell hidràulic està assenyalat per la disminució dels nivells mínims assolits a l'estiu i, també, pel decreixement dels nivells màxims, corresponents als mesos de primavera posteriors al període de recàrrega (octubre-maig), durant els períodes de sequera. El fet més notable és que un o dos mesos consecutius de precipitacions elevades —habitualment a finals de tardor, com per exemple en els anys 1994, 1995, 2003 o 2006; o a la primavera, any 2002— permeten una recuperació completa dels recursos emmagatzemats. En

el cas d'aquest aquífer al·luvial, el nivell hidràulic màxim se situa a uns 29 m sobre el nivell del mar, corresponent a la cota de la llera del Daró a les proximitats del piezòmetre considerat, i el nivell mínim a uns 15-16 m sobre el nivell del mar, corresponent aproximadament a la base de la formació hidrogeològica. És interessant observar com, durant el període 1997-2002, quan la precipitació mitjana d'aquests 5 anys fou de 564 mm anuals, respecte als 645 mm del període 1990-2009 (és a dir, un 12% inferior), els recursos d'aigua subterrània disminuiren pràcticament en un 85% en un context de demanda constant.

En sistemes hidrogeològics regionals, el caràcter confinat de l'aqüífer explotat determina que la tipologia de l'impacte sigui diferent. Com s'ha esmentat, la dimensió de les formacions geològiques afectades, amb la seva litologia i estructura geològica, conté un volum d'aigua molt més elevat per a abastir el cabal d'extracció, la qual cosa dona una certa garantia (Tuinhof et al., 2005). A més, l'aigua captada procedeix de l'emmagatzemament a pressió en els porus de la roca;

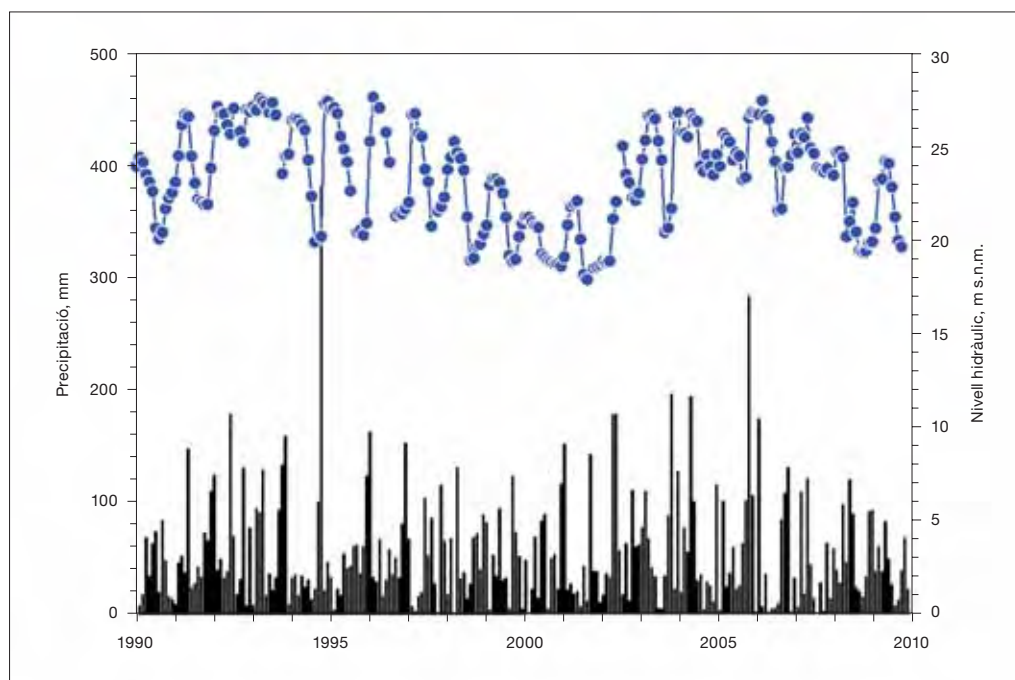


Figura 7. Evolució del nivell hidràulic al piezòmetre S-24 a l'aqüífer al·luvial del Rissac, al sistema al·luvial del riu Daró (Baix Empordà), segons dades de nivell hidràulic disponibles al web de l'Agència Catalana de l'Aigua i dades de precipitació de l'Institut Nacional de Meteorologia (1990-1997) i de la Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (1998-2009).

la qual cosa fa que el buidatge dels recursos de la formació geològica sigui menor. En aquest context a gran escala, habitualment ubicat en zones muntanyoses, la presència d'estructures geològiques, com ara falles, poden crear zones de flux preferencial sovint relacionant sistemes hidrogeològics de diferents conques hidrogràfiques. Així, aquest tipus de falles actuen com a conductes de recàrrega que proporcionen el cabal necessari o bé que, durant les estacions amb menor demanda (tardor-hivern), permeten la recuperació del nivell hidràulic en l'aqüífer explotat i, per tant, una minimització de l'impacte.

Dins de les pressions associades a l'extracció d'aigua subterrània també s'ha de considerar l'impacte en els ecosistemes —zones de ribera, aiguamolls— relacionats amb afloraments d'aigua subterrània. Els descensos ocasionats pel bombeig poden minvar les aportacions d'aigua subterrània a aquests hàbitats i causar la seva degradació. Aquestes situacions ocasionen un impacte directe en l'estat ecològic dels ecosistemes aquàtics i es poden definir com a exemples de sobre-explotació i d'ús no sostenible dels recursos; alhora que impedeixen l'assoliment dels objectius de la DMA.

Finalment, l'extracció de recursos hidrogeològics prop del litoral afavoreix la migració de la falca d'intrusió salina cap al continent, que causa la salinització de l'aigua subterrània i una pèrdua de qualitat del recurs, irrecuperable mentre continuï el ritme de captació amb la mateixa intensitat. En el context del canvi climàtic, el descens del nivell hidràulic degut a la disminució de la recàrrega i l'augment del nivell del mar determinaran el moviment de la falca marina i el volum d'aigua dolça disponible (Kooi *et al.*, 2000; Märtenson i Garabedian, 2007).

8.5.2.3. Vulnerabilitat territorial

L'alteració que la captació de recursos exercirà en les masses d'aigua subterrània dependrà de la seva configuració geològica i de l'efecte que aquesta tingui en la recàrrega. Així, doncs, les masses d'aigua amb major vulnerabilitat seran les corresponents a zones al·luvials, amb formacions geològiques sedimentàries no consolidades, amb diversos nivells aquífers resultants de l'evolució geològica dels sistemes fluviodeltaics,

i amb topografies planeres; les quals, per aquestes mateixes raons reuneixen un gran part de les activitats humanes: assentaments urbans, activitat agrícola, industrial i de lleure. A més, atès que aquestes formacions se situen a la franja litoral, el fenomen de la intrusió marina —accentuat per la captació d'aigua— s'afegeix com un element més de vulnerabilitat amb relació a la disponibilitat del recurs.

Les majors formacions fluviodeltaiques (Fluvià-Muga, Baix Ter, Tordera, Besòs, Baix Llobregat, Francolí i delta de l'Ebre), constitueixen masses d'aigua subterrànies definides i són les que presentaran una major vulnerabilitat, és a dir, una major alteració per la disminució de la recàrrega directa de la precipitació i, per tant, una minva en la renovació dels recursos en un entorn d'explotació constant. És cert que la majoria d'aquestes formacions estan associades a cursos fluvials, però les aportacions de la majoria d'aquests rius als aquífers són actualment escasses o nul·les (Tordera, Francolí), o bé estan limitades pel baix cabal que arriba al tram final dels rius degut a la regulació dels embassaments, aigües amunt, i a les derivacions per a ús urbà i industrial (Llobregat, Ter) o agrícola (Muga, Ter). En un escenari de futur, en el qual les aportacions en forma de cabal superficial tendiran a disminuir, la contribució d'aquests rius en la recàrrega dels aquífers serà encara menor. Les iniciatives de recàrrega dels aquífers superficials amb aigua regenerada i, més recentment, la construcció de plantes dessaladores a la Tordera i al Baix Llobregat, alleugereixen la pressió damunt d'aquestes formacions hidrogeològiques. Conseqüentment, permeten parcialment la recuperació de la dinàmica hidrogeològica pròpia d'aquestes àrees, ja per elles mateixes susceptibles a l'alteració de les seves funcions hidrològiques, i de la qualitat dels seus recursos subterranis.

Altres formacions al·luvials es troben lluny del litoral, i per tant, la vulnerabilitat dels seus recursos sol ésser menor; atès que, d'una banda, les pressions humanes són menys intenses i, per l'altra, la seva ubicació en zones de muntanya, especialment a les d'àrees pirinenques, les situa en zones amb una major pluviometria. La predicció d'una menor disminució de la precipitació a les zones de muntanya respecte a zones litorals

i d'interior alleugereix també els efectes damunt dels recursos subterranis. Aqüífers com els dipòsits fluviovolcànics de la vall d'en Bas a la Garrotxa, els al·luvials de la Cerdanya i de la vall del Segre, entre altres, s'inclourien en aquest conjunt d'aqüífers relativament menys vulnerables. Cal fer una menció especial als aqüífers superficials de les comarques de l'Urgell, Pla d'Urgell i Segrià, especialment en la massa d'aigua subterrània anomenada *al·luvial de l'Urgell*, on l'evolució anual de la piezometria està condicionada als períodes de reg procedents del canal d'Urgell i d'altres canals associats.

En el grup de les formacions sedimentàries no consolidades, els aqüífers en materials neògens mereixen una consideració especial, atès que es troben en entorns tectònics específics i amb uns reblliments sedimentaris en els quals la proporció de sediments fins (principalment, argiles), i per tant, de nivells geològics confinants (o semiconfinants), és molt important. Ambdós factors, la tectònica i la litologia, determinen la resposta de la recàrrega a les variacions climàtiques i a l'extracció de recursos. Les principals formacions neògenes se situen a les depressions tectòniques que es formaren a finals de l'orogènesi alpina, concretament en el context de la serralada mediterrània i que configuren la depressió prelitoral, des del camp de Tarragona, amb les depressions del Vallès-Penedès i la Selva, fins a l'Empordà.

L'efecte de la disminució de la recàrrega en aquestes formacions sedimentàries neògenes afectarà, principalment, els nivells superiors, que actuen com a aqüífers lliures i que, en funció de la sèrie sedimentària subjacent (en particular, l'abundància de nivells de sediments fins) transmeten aquesta recàrrega cap als nivells inferiors. Tanmateix, aquests darrers solen tenir característiques pròpies d'aqüífers confinats o semiconfinats; la qual cosa implica que la recàrrega se situa en altres indrets en relació amb estructures tectòniques regionals. En aquest sentit, és especialment rellevant la identificació de sistemes de flux regionals que tenen el seu origen en els relleus que envolten aquestes depressions tectòniques i que, aprofitant les estructures tectòniques, exerceixen la recàrrega profunda, sovint amb fluxos verticals ascendents, cap al reblliment de les formacions sedimentàries neògenes. Les manifesta-

cions termals de la Selva, del Vallès o del Maresme són exemples d'aquests tipus de sistemes de flux i, en el cas de la depressió de la Selva, s'ha provat que exerceixen una recàrrega eficient dels materials neògens a partir dels fluxos originats als relleus de la serralada Transversal i Montseny-Guilleries, principalment, i de les Gavarres i la serra de Marina, amb menor contribució (Menció, 2006; Folch, 2010; figura 8). Aquests sistemes hidrogeològics a gran escala presenten menys vulnerabilitat a una variació climàtica de la recàrrega ateses les dimensions dels sistemes explotats i una major resiliència, ja que l'alteració del sistema de flux tindria lloc, probablement, en un lapse de temps superior als horitzons habitualment considerats. Presenten, doncs, un potencial de subministrament interessant; si bé amb la incertesa que es desconeix la resposta precisa d'aquests grans sistemes a una extracció intensiva prolongada i el risc, gens desitjable, d'iniciar-hi un procés de sobreexplotació (Menció *et al.*, 2010). De manera similar, els aqüífers en materials plioquaternaris del camp de Tarragona reben la recàrrega a partir dels materials mesozoics subjacents que configuren el substrat de les depressions tectòniques de l'extrem sud dels Catalànids.

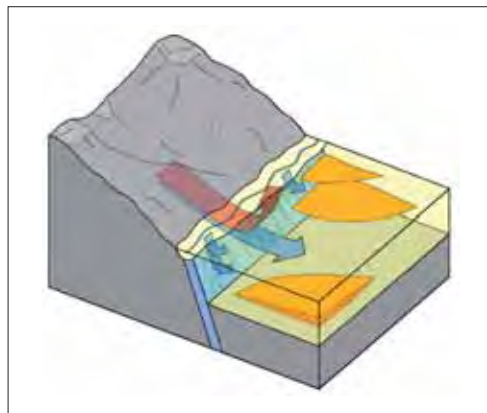


Figura 8. Esquema dels fluxos subterranis en depressions tectòniques mostrant la imposició de les zones de falla en la distribució dels sistemes de flux regionals i la seva afecció a la recàrrega del reblliment sedimentari de la depressió. Les fletxes blaves indiquen la recàrrega procedent del massís i com la zona de fractura la distribueix, amb major magnitud cap als nivells de major permeabilitat. La fletxa vermella ascendente indica la possibilitat que la zona de falla generi fluxos verticals que poden alimentar els recursos de nivells hidrogeològics superiors, com ara les formacions al·luvials. Il·lustració original d'A. Folch.

En aquest sentit, es conclou que els sistemes de flux regional, a major escala que els que correspondrien a les dimensions de la pròpia conca hidrogràfica, contribueixen significativament al balanç hidrològic en determinats aqüífers, especialment els que estan en dipòsits sedimentaris no consolidats ubicats en depressions o àrees amb importants estructures tectòniques. Aquesta aportació és encara més rellevant perquè permet mantenir un determinat règim d'explotació i, en alguns casos, recuperar el nivell hidràulic (i alhora, els recursos emmagatzemats) en períodes de menor intensitat de bombeig. Aquests sistemes de flux constitueixen, doncs, un factor de garantia en aquests aqüífers davant de les pressions derivades del canvi climàtic.

La constitució geològica de les diferents masses d'aigua és, per tant, una variable clau en la vulnerabilitat dels recursos hidrogeològics davant de les pressions climàtiques. A més de les formacions comentades, cal considerar les formacions hidrogeològiques en roques consolidades (ígnies, metamòrfiques i sedimentàries); les quals tenen com a tret comú el fet de trobar-se habitualment en zones de muntanya —Pirineu, Prepirineu i serralada Prelitoral, com a unitats de relleu més importants— on les pressions antròpiques, en concret les extraccions, són generalment menors. Per la seva ubicació se situen en àrees on, comparativament, la precipitació és més elevada i les temperatures, menors; si bé amb les prediccions climàtiques disponibles es considera que aquestes àrees també són susceptibles a les pressions climàtiques, amb augments de l'evapotranspiració, disminució de l'escorriment superficial i, conseqüentment, variacions minvants de la recàrrega dels aqüífers (Gallart, 2009; Sabaté, 2009; Manzano, 2009a). Concretament, l'ús del sòl, predominantment forestal, és un dels factors condicionants de la redistribució de l'aigua en els diversos components del cicle hidrològic i, en darrer terme, d'una potencial disminució de la recàrrega.

Un dels aspectes més rellevants en les masses d'aigua en àrees de muntanya és el gran volum de recursos que impliquen; els quals, fins a una determinada magnitud de la pressió climàtica, permetran el desenvolupament de les seves funcions com a reservori d'aigua subterrània: l'abas-

tament a poblacions i el cabal de base a torrents i rius necessari per a la presència de flux en els hàbitats de ribera. Aquesta observació admet, això no obstant, que determinats nivells de pressió ocasionaran l'asseccament de fonts i una menor contribució als cursos d'aigua, pel fet que la disminució de la recàrrega previsiblement afectarà en primer lloc els circuits més superficials associats al balanç d'aigua en el sòl i nivells superiors del subsòl relacionats amb la dinàmica forestal. Altres deus, associades a zones de descàrrega de part dels massissos i sovint relacionades amb fractures o altres discontinuïtats geològiques, seran menys vulnerables a la disminució de la recàrrega, i hom pot preveure que tinguin una resiliència major a les pressions derivades del canvi climàtic. Cal esmentar, no obstant això, que l'abastament a petits nuclis habitats de zones de muntanya depèn de recursos subterranis explotats a través de deus i de derivacions a partir de repeses a petits torrents, fet que pot implicar una pèrdua de garantia en la disponibilitat d'aigua, bàsicament per a ús domèstic.

En aquest context, aquelles formacions geològiques amb sistemes de flux amb respostes ràpides, atesa l'alta permeabilitat general del massís, seran les més vulnerables als factors climàtics. Concretament, les àrees càrstiques, caracteritzades per una elevada capacitat d'infiltració de la precipitació i una bona eficiència en el drenatge subterrani, notaran amb més intensitat una futura disminució de la recàrrega en contraposició a les zones amb roques cristal·lines (ígnies i metamòrfiques) amb majors temps de residència de l'aigua a l'interior dels aqüífers. Territorialment, les zones càrstiques corresponen a les formacions calcàries del Pirineu (conca alta del Llobregat) i Prepirineu (serra del Montsec, conca de Tremp i serres marginals), i del sistema mediterrani (Garraf, Cardó-Vandellòs). La relació de les surgències càrstiques amb el naixement de rius podrà causar una afecció en el seu cabal superficial com a conseqüència de la disminució de la recàrrega. En són exemple les fonts del Llobregat com a cas paradigmàtic; però també un gran nombre de punts menors que, atesa la naturalesa càrstica del subsòl, nodreixen el cabal de torrents i rieres en moltes àrees, des de rieres pirinenques a petits torrents de la depressió central. Un altre

exemple càrstic singular és el sistema hidrològic de Banyoles-Alta Garrotxa.

Tenint en compte els efectes esmentats, les masses d'aigua subterrànies en les quals variarà la vulnerabilitat dels recursos hidrogeològics per la disminució de la recàrrega a causa dels factors climàtics es mostren a la figura 9.

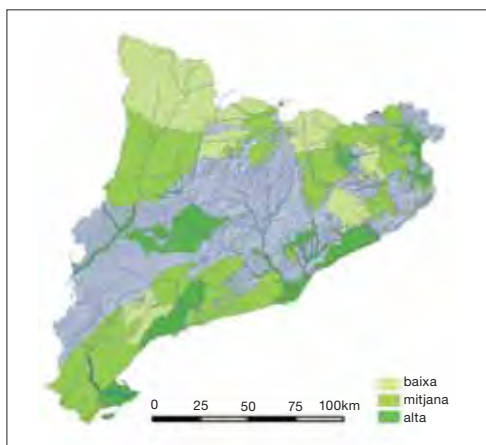


Figura 9. Cartografia de les masses d'aigua subterrànies segons la variació de la seva vulnerabilitat a les pressions sobre el medi hidrològic per disminució de la recàrrega subterrània associada a factors climàtics.

8.5.3. Vulnerabilitat territorial associada a l'alteració de la qualitat hidroquímica de l'aigua

8.5.3.1. Efectes dels factors climàtics

Els factors climàtics determinen part dels cicles biogeoquímics que controlen la qualitat de les aigües tant superficials com subterrànies. En el moment de considerar canvis de l'estat hidroquímic de l'aigua en un horitzó futur cal diferenciar entre la qualitat natural; és a dir, aquella que la caracteritza en absència d'interferències humanes; i la qualitat —o més ben dit, pèrdua de qualitat— alterada per introducció de substàncies contaminants derivades de les activitats antròpiques. En ambdós casos, l'evolució hidroquímica de l'aigua estarà determinada per les condicions ambientals imperants.

Per diferents motius geològics o biològics, la qualitat natural de l'aigua pot ésser inadequada per al consum humà, especialment per a l'ús domèstic. La presència de determinats ions, com el fluor, l'arsenic, o el clorur a les zones litorals, fan

que els recursos hidrològics no siguin apropiats i, en alguns casos, fins i tot siguin nocius per a l'ús humà. En determinades ubicacions, un excés de matèria orgànica en dissolució, l'existència de microorganismes o altres patògens limiten l'ús de l'aigua. No obstant això, les pressions derivades de les activitats humanes són habitualment la principal causa de deteriorament de la qualitat de l'aigua.

Aquest deteriorament es deu a la presència d'elements o compostos contaminants; els quals poden trobar-se en dissolució o acumulats en el medi, ja sigui en els sediments fluvials, en els porus de les formacions aquífères o en la biomassa. En qualsevol cas, la seva persistència variarà en funció de les variables climàtiques. Grimalt i Ginebreda (2009) exposen la resposta a les modificacions climàtiques de diversos contaminants a través del comportament d'alguns dels cicles geoquímics, tant de tipus natural com vinculats a l'activitat humana. Aquests autors, com ja s'ha esmentat, constaten futurs impactes en la qualitat de l'aigua relacionats amb les variacions dels factors climàtics. Els impactes es deuran tant a activitats humanes més puntuals com a la presència de contaminants relacionats amb dinàmiques de tipus global que han permès la deposició i acumulació de composts en sediments, i la posterior remoció per efecte del canvi en les condicions ambientals (per exemple, l'existència de composts organoclorats en els sediments dels estanyes pirinencs).

No és necessari insistir que ens preocupem dels efectes del canvi climàtic sobre la qualitat dels recursos hidrològics en un moment en què la seva qualitat ja està alterada com a resultat de diversos impactes. El desenvolupament socioeconòmic actual està associat a la producció de residus i al seu abocament al medi —malgrat l'aplicació de metodologies de tractament i regeneració—, la qual cosa modifica la qualitat del medi natural, i especialment la del vector aigua. Aquest impacte té connotacions diferents segons es tracti d'aigua superficial o d'aigua subterrània.

Els impactes humans en els recursos superficials estan associats, principalment, als abocaments a llera actualment regulats i controlats a nivell de conques de Catalunya. Malgrat aquests esforços, els abocaments són inevitables i, dins

dels paràmetres legalment establerts, aporten substàncies alienes a la dinàmica natural i afecten la qualitat de l'aigua, dels sediments i dels organismes a la zona de ribera. El manteniment de la qualitat ambiental a les lleres, doncs, està associat al règim de cabals; els quals permeten una parcial dilució dels abocaments amb els cabals habituals i la regeneració del medi en moments d'avinguda. És evident, doncs, que l'alteració futura del règim de cabals afectarà la qualitat del medi, tant en l'estat químic com en el biològic. Per assolir i conservar l'efecte de dilució és especialment rellevant el compromís en el compliment dels cabals de manteniment. Tanmateix, la derivació de recursos superficials per mantenir la diversa demanda, com s'ha esmentat, generarà un conflicte en la regulació dels cabals adequats per satisfer el nivell de dilució adequat, entre altres finalitats associades a la magnitud del cabal superficial dels rius. Des d'una perspectiva química, l'existència d'un règim de cabals apropiat garanteix aquest procés de dilució i, alhora, la regeneració del llit del riu per facilitar la partició dels contaminants adsorbits en el sediment (composts orgànics, metalls...) cap a l'aigua i la biodegradabilitat de determinats composts. També contribuirà a evitar processos d'eutrofització en aquells trams de riu que poguessin oferir les condicions hidrològiques oportunes.

En el cas de les aigües subterrànies, les variacions en la recàrrega i la conseqüent alteració dels sistemes de flux, juntament amb l'afecció causada pel règim d'extraccions, determinaran la magnitud de la migració del contaminant i la seva dispersió a l'interior de l'aquífer. A més, la variació de la recàrrega controla el ritme d'infiltració i, alhora, un seguit de processos que tenen lloc al sòl; on, mitjançant processos químics (dissolució, precipitació, oxidació, reducció...) i microbiològics, té lloc la transformació de determinades substàncies i es determina el tipus de productes que, finalment, arribaran a la zona saturada. Per exemple, l'aplicació de fertilitzants als conreus, especialment de tipus orgànic (purins), implica la transformació del nitrogen en forma amoniacal a nitrat, en funció d'un seguit de reaccions controlades pel temps de trànsit al sòl, la presència de microorganismes apropiats i l'entorn idoni per a les reaccions químiques. Les variacions d'aquestes condicions ambientals, juntament amb

diferents règims de recàrrega natural, l'aplicació dels fertilitzants segons la producció de residus ramaders i les necessitats definides per les pràctiques agrícoles, condicionaran finalment la massa de nitrogen que arribarà als aquífers, on romanirà en forma de nitrat (Soler *et al.*, 2009).

La dinàmica hidrogeològica de les aigües subterrànies és extremadament lenta comparada amb la de les aigües superficials. Aquest comportament implica que la persistència de concentracions elevades de contaminants serà elevada i la possibilitat de regeneració dels aquífers esdevindrà complexa, lenta i costosa, tant si es realitza per processos naturals —desnitrificació (Otero *et al.*, 2009) o biodegradació (Palau, 2008)— com si s'apliquen tecnologies de tractament *in situ* o bioremediació.

8.5.3.2. Pressions sensibles als canvis en els factors que determinen la qualitat dels recursos

La qualitat dels recursos està influenciada per dues tipologies de pressions: les que determinen la presència de contaminants —abocaments procedents de sistemes de sanejament, d'aigües residuals no tractades i d'indústries, aportacions de fertilitzants i dejeccions ramaderes i tractaments fitosanitaris, existència de activitats o residus miners i, en el cas especial del Llobregat, el rentat dels runams salins—, i aquelles que defineixen la permanència i migració dels contaminants en el medi: alteracions del règim hidrològic als rius i captació d'aigua en els aquífers.

Les pressions del primer conjunt estan associades a l'activitat humana i variaran en funció de la idiosincràsia socioeconòmica regional i de la seva transformació durant els propers cent d'anys. Contràriament, les pressions del segon grup estan relacionades amb els factors climàtics per la relació que tenen amb el cicle hidrològic; alhora que també depenen de l'increment de la demanda d'aigua en un escenari de futur en el qual el règim dels rius i la proporció de recàrrega dels aquífers presentarà alteracions de signe negatiu a la Mediterrània occidental.

8.5.3.3. Vulnerabilitat territorial

L'anàlisi de la vulnerabilitat territorial relacionada amb els canvis dels factors associats a la

qualitat de l'aigua indica que els factors climàtics no són, en general, una causa directa d'alteració de la qualitat, sinó que transformen la dinàmica hidrològica i, per tant, els processos que governen la qualitat del recurs. En els apartats anteriors s'esmentaven diverses formes de contaminació que podien associar-se a factors climàtics, bàsicament a partir d'alteracions dels processos de dilució i acumulació de contaminants, de modificacions del seu transport en fase dissolta o per remoció dels sediments acumulats en la llera, o bé en relació als processos edàfics i a la migració i dispersió dels contaminants en la zona freàtica. En tots aquests exemples, la variació de la qualitat estava associada a les condicions en què es desenvolupa el cicle hidrològic.

Els abocaments en aigües superficials, d'origen urbà (regenerats o sense tractament, en funció del nombre d'habitants del nucli en compliment dels plans de sanejament) i industrial (generalment, tractats), són la principal causa d'alteració de la qualitat en els rius. Impactes associats a la pèrdua de cabal superficial redundaran en la manca de dilució d'aquests abocaments, de manera que les masses d'aigua superficials amb major vulnerabilitat seran aquelles en què la relació entre volum abocat i cabal circulant sigui més elevada. Hom pot considerar aquesta relació com a indicativa de la vulnerabilitat; és a dir, aquells rius on decreixi el cabal seran més vulnerables en funció del volum de l'abocament rebut. Així, els trams fluvials a les zones de capçalera presenten cabals relativament petits, proporcionals a l'àrea de la conca drenada, però poden presentar una variabilitat del cabal important en moments de crescuda o de desgel. Paral·lelament, les àrees de capçalera de les conques solen ésser poc poblades i, per tant, l'abocament tindrà un volum exigü comparat amb el cabal; excepte en aquelles àrees on, per motius de lleure, s'hagin creat grans desenvolupaments urbanístics (per exemple, conques del Pirineu amb estacions hivernals). A l'horitzó del 2100, la disminució dels cabals associada a factors climàtics pot ésser, doncs, un motiu de pèrdua de qualitat en aquests cursos d'aigua; si bé pot ésser compensat, en els aspectes qualitatius, amb la millora del sanejament.

No obstant això, els trams de rius amb poc cabal també són propis dels cursos baixos, aquest

cop per causes antròpiques relacionades amb derivació dels cabals i explotació dels aqüífers. En aquestes situacions les circumstàncies són diferents, atès que els abocaments a la llera solen constituir un elevat percentatge del cabal i, estacionalment, poden arribar a ser l'única aportació al cabal del riu perquè l'explotació dels recursos subterranis impedeix la contribució d'aigua subterrània en forma de cabal de base. Addicionalment, les contribucions dels abocaments s'infil·tren finalment a l'aqüífer lliure, deixen la llera seca i recarreguen el subsòl amb aigua de baixa qualitat. Aquestes circumstàncies són freqüents a la conca baixa de la Muga, a la conca del riu Onyar i del Besòs, en el cas paradigmàtic dels trams mitjà i baix de la Tordera o del tram baix del Llobregat, i en altres àrees de la depressió central i comarques meridionals de Catalunya (curs del Francolí, per exemple) on la baixa precipitació i l'explotació dels recursos subterranis genera situacions com la descrita.

En aquest context hidrològic, la disminució del cabal superficial i de la recarrega dels aqüífers associada al canvi climàtic en l'horitzó de 2100 incrementa la vulnerabilitat d'aquestes zones amb cabals baixos, molt especialment les que els tenen causes de sobreexplotació del recurs; i incorpora al problema de pèrdua de qualitat el de disminució de la quantitat d'aigua disponible en un context de demanda sostinguda, quan no creixent.

Els trams mitjans dels rius, amb un cabal rellevant, són els que poden presentar més resiliència als efectes dels abocaments. Concretament, el tram alt i mitjà del Ter, amb importants nuclis industrials, el tram mitjà del Llobregat i el tram català de l'Ebre s'inclouen en aquest grup. No obstant això, cada un té circumstàncies diferents. El tram alt del Ter està afectat per les derivacions cap a centrals hidroelèctriques locals; si bé, de tots els casos esmentats, es pot considerar el tram fluvial que presenta un règim menys alterat. En contraposició, el tram mitjà del Ter, amb les aglomeracions urbanes i industrials de Girona i el seu entorn, des d'Anglès fins a Celrà, està regulat pel cabal sortint del sistema d'embassaments Sau-Susqueda-Pasteral i, per tant, es disposa d'una eina de gestió que pot permetre (a través d'una assignació ajustada de tota la

demanda que depèn del riu Ter, incloent-hi el transvasament a l'àrea metropolitana de Barcelona) el cabal necessari per a garantir aquells processos que controlen la qualitat de l'aigua. El tram mitjà del Llobregat, regulat també pels embassaments a capçalera, és un exemple d'aprofitament extrem del recurs aigua, amb la successió de derivacions per aprofitaments hidroelèctrics, àrees industrials i abastaments urbans. Cal tenir en compte l'aridesa de la conca mitjana del Llobregat, juntament amb l'elevada ocupació antròpica i, per tant, de demanda d'aigua. En aquest tram hi ha el factor afegit de la lixiviació de les roques evaporítiques, i més concretament dels runams salins¹ que deteriora la qualitat de l'aigua superficial. El grau d'alteració per aquest motiu pot augmentar si, davant de les prediccions associades al canvi climàtic, disminueix la capacitat de dilució en el riu.

El tram final de l'Ebre també disposa de la regulació per embassaments. No obstant això, aquest tram fluvial presenta dos aspectes negatius pel que fa a la qualitat. El primer està relacionat amb l'acumulació de residus industrials a Flix. Un potencial retorn d'aquests contaminants al medi aquós, actualment associats als sediments acumulats en la zona d'abocament dels residus, pot veure's incrementat amb variacions de la dinàmica fluvial i dels processos químics que li són propis (Grimalt i Ginebreda, 2009). El segon aspecte a considerar és la falca salina que es desenvolupa al riu Ebre, en el tram de Tortosa fins al mar, en funció del cabal circulant i, en general, de tota la dinàmica hidrogeològica a la zona del delta, en la qual el reg dels arrossars té un paper determinant. El control d'aquesta falca salina, doncs, està estretament relacionat amb la gestió de l'aigua a la zona —a través de múltiples variables, on s'integren factors hidrològics, ecològics i socioeconòmics— i amb servituds actuals (transvasament a Tarragona). Totes aquestes variables són clarament dependents dels efectes

del canvi climàtic. Tanmateix, l'afecció per intrusió marina també contribuirà a la salinització de les aigües subterrànies.

La figura 10 mostra les diverses conques o subconques hidrogràfiques en funció del seu increment de la vulnerabilitat a l'afecció climàtica damunt la qualitat de les aigües superficials. Són, principalment, i en funció de les causes esmentades, les masses d'aigua superficial en les quals la disminució del cabal serà més significant, i on actualment el cabal ja és escàs per diverses circumstàncies.

En considerar la vulnerabilitat de les masses d'aigua subterrànies, amb dependència de les masses d'aigua superficials, cal esmentar la pèrdua de qualitat deguda a la infiltració del cabal del riu amb una contribució rellevant d'abocaments urbans o industrials. En els escenaris de futur, aquest impacte actual persistirà, atès que el cabal superficial tendirà a disminuir i la demanda caldrà compensar-la, en la mesura de la disponibilitat, amb recursos subterranis. Per aquesta raó, els aqüífers al·luvials ja comentats, especialment els de caràcter lliure on es donin aquestes circumstàncies, són, doncs, especialment vulnerables.

El principal impacte a les masses d'aigua subterrània és la problemàtica relacionada amb la contaminació associada a pràctiques agrícoles i

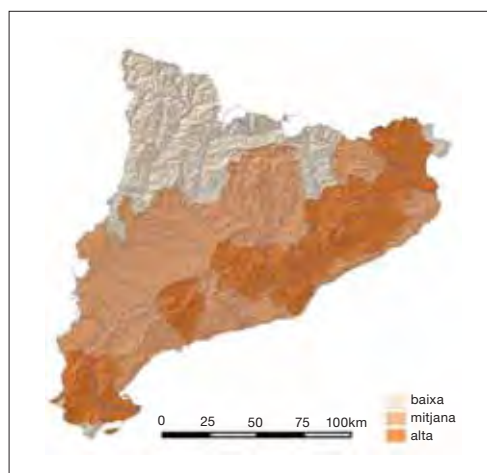


Figura 10. Cartografia de les conques o subconques hidrogràfiques, segons la variació de la vulnerabilitat de les masses d'aigua superficials a les pressions sobre la qualitat de l'aigua associada a factors climàtics.

1. La construcció del col·lector de salmorres l'any 1990 a les conques dels rius Cardener i Llobregat evita que la lixiviació dels runams salins de les explotacions mineres a la conca potàssica catalana arribi als cursos fluvials. Malgrat aquest col·lector, encara hi ha escorrenties salines que desguassen directament als rius i rieres i afecten pel mateix fet les aigües subterrànies (Rovira, 2008).

a l'ús de dejeccions ramaderes com a fertilitzants, les quals són responsables d'elevades concentracions de nitrat a les aigües subterrànies. Diversos municipis de Catalunya estan definits com a zones vulnerables a la contaminació per nitrats, a través de successius decrets, i reflecteixen aquelles zones amb agricultura intensiva (Maresme i gran part del litoral mediterrani, Urgell...) o amb una gran cabana ramadera, principalment porcina (Osona, Empordà, Selva, Garrotxa, Pallars Jussà...) on és necessari distribuir les dejeccions en forma de fertilitzants. Similarment, les masses d'aigua subterrània ubicades en aquestes zones presenten concentracions elevades de nitrat i, per tant, els seus recursos són inadequats per a l'abastament domèstic.

L'entorn hidrogeològic on té lloc la fertilització dels conreus és determinant en la migració i dinàmica del nitrogen en el subsòl. Les formacions al·luvials, per si mateixes, són àmpliament utilitzades per al conreu i, conseqüentment, reben les aportacions de nitrogen necessàries o permeses: de 170 kg N/ha/any a les zones vulnerables i de 210 kg N/ha/any a la resta (Teira, 2008). Així, la majoria de masses d'aigua subterrànies constituïdes per formacions al·luvials o per formacions fluviodeltaïques estan generalment afectades per la contaminació de nitrat; en algunes s'assoleixen concentracions que superen el llindar de 50 mg/L de nitrat recomanat per al consum. Les condicions ambientals futures afectaran a la pol·lució per nitrat de dues maneres: la primera, afectant el temps de trànsit del purí aplicat al sòl, atès que una variació en el règim de precipitacions disminuirà tant el ritme com el volum de la recàrrega, produirà un descens del nivell freàtic i, per tant, un major gruix de la zona no saturada en aquelles zones on el purí s'aplica en conreus de seca (Osona, Empordà...). En zones de conreus de regadiu (Empordà, Selva, Maresme, Urgell...), el règim del reg alterarà la dinàmica natural i controlarà la posició del nivell freàtic. La retenció dels composts de nitrogen al sòl permetrà la mineralització del purí en forma de nitrat i la seva retenció al sòl facilitarà l'assimilació per part de les plantes i retardarà la lixiviació cap a la zona freàtica. Aquest procés és més complex, atès que dependrà dels requeriments de cada tipus de conreu en condicions climàtiques diferents.

La contaminació existent a la zona saturada, sigui en aqüífers lliures o en aqüífers confinats, evoluciona en funció del moviment del flux subterrani i dels processos d'atenuació natural (desnitrificació). Com s'ha comentat, les noves condicions climàtiques afectaran amb menor intensitat, a mitjà termini, els sistemes de flux d'aigua subterrània, especialment els de tipus regional. Per tant, la contaminació actual per nitrats en els aqüífers profunds d'Osona, Pallars Jussà, Selva i determinades zones de l'Empordà, com a exemples més representatius, no resultarà greument alterada per factors climàtics. No obstant això, un augment de les extraccions d'aigua subterrània d'aquests sistemes hidrogeològics per a compensar els dèficits en recursos superficials pot modificar els sistemes de flux i incrementar la migració i dispersió del nitrat en els aqüífers. Concretament, l'explotació d'aqüífers semiconfinats profunds genera fluxos descendents a través dels nivells dels aqüitards. Aquests fluxos induïts pel bombeig transmeten als nivells inferiors la contaminació per nitrat existent en els aqüífers lliures superiors que sustenten l'activitat agrària en superfície (Menció *et al.*, 2007; Ramonell *et al.*, 2008). Aquest procés, que actualment ja ha deteriorat la qualitat de diversos aqüífers profunds, serà més habitual si per a la satisfacció de la demanda s'incrementa la captació dels recursos subterranis.

La segona forma en què el canvi climàtic afectarà la pol·lució per nitrat és modificant les condicions de temperatura, concentració d'oxigen dissolt, humitat al sòl i biomassa, entre altres factors, dels horitzons del sòl on tenen lloc els processos de nitrificació. En el rang de les prediccions climàtiques, un increment de temperatura comporta una major eficiència de la nitrificació; però aquesta es veu reduïda en condicions d'elevada humitat del sòl (Breuer *et al.*, 2002). La disponibilitat d'aquest nitrat com a nutrient dependrà del tipus de conreu, del moment d'aplicació i de la capacitat d'infiltració del sòl. És per aquesta complexitat que cada aqüífer lliure tindrà una resposta diferent als canvis en la cinètica de la nitrificació.

Finalment, la contaminació de masses d'aigua subterrànies per productes d'origen industrial és un fenomen associat a les zones on predomina

aquesta activitat, ja sigui per abocaments de fluids o per acumulacions de materials de rebuig, de caràcter tòxic, en abocadors o zones diverses amb sòls contaminats. Diversos episodis puntuals de contaminació per combustibles, dissolvents organoclorats, etc. han estat descrits arreu del territori català (Empordà, Gironès, Maresme, Osona, Barcelonès, Baix Llobregat, Anoia, Camp de Tarragona, entre altres). Els efectes del canvi climàtic damunt de l'evolució d'aquests contaminants al subsòl, similarment als exemples ja esmentats, estarà associat a les variacions naturals o induïdes dels sistemes de flux segons la recàrrega i els règims d'extraccions, respectivament; i per les modificacions que les condicions ambientals puguin exercir en els processos de transformació (biodegradabilitat) d'aquests composts. Cal precisar que, pel fet de tractar-se d'abocaments puntuals en superfície, l'abast dels plomalls de contaminació afecta habitualment els aquífers lliures, amb una menor penetració cap a formacions hidrogeològiques profundes. Per aquest motiu, és factible que aquest tipus de pol·lució de les aigües subterrànies sigui més sensible als canvis ambientals que altres menes de contaminació, com ara la contaminació per nitrats, les quals pel seu caràcter difús participen de sistemes de flux a major escala on els efectes climàtics descrits tindran menys incidència.

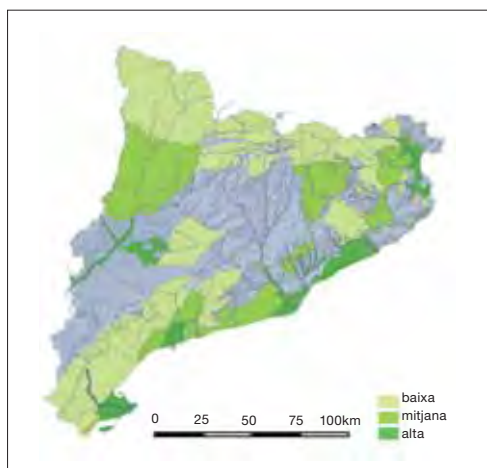


Figura 11. Cartografia de les masses d'aigua subterrànies segons la variació de la seva vulnerabilitat a les pressions sobre la qualitat de l'aigua associada a factors climàtics.

Les masses d'aigua subterrànies que, per diverses causes, presentaran majors alteracions en la qualitat hidroquímica dels seus recursos degudes als factors climàtics es mostren a la figura 11. Territorialment, corresponen a les zones amb més activitat agrícola i industrial, alhora que amb una certa pressió damunt de la captació d'aigua subterrània.

8.6. Conclusions

Les prediccions climàtiques per a l'horitzó del segle XXI assenyalen un escenari hidrològic que, en termes generals, implica una disminució en la disponibilitat d'aigua a Catalunya. El canvi climàtic produirà una alteració del cicle hidrològic que consisteix, a grans trets, en una disminució del cabal dels rius, en una disminució de la recàrrega subterrània i en una modificació dels diferents processos biogeoquímics que determinen la qualitat de l'aigua. Diversos estudis han caracteritzat els impactes del canvi climàtic, aportant observacions concloents de les possibles alteracions futures (ACA-FNCA, 2009).

En aquest sentit, l'estudi de les diferents tipologies de masses d'aigua —superficials i subterrànies— i la seva resposta a les pressions climàtiques i a les antròpiques (és a dir, el coneixement de la seva vulnerabilitat als impactes resultants de la suma d'ambdues pressions) contribueix a la definició de mesures específiques de gestió de l'aigua en la línia d'adaptació al canvi climàtic.

Per a aquesta anàlisi qualitativa de la vulnerabilitat territorial s'han considerat, primerament, els efectes dels factors climàtics en relació amb els processos hidrològics que determinen la disponibilitat del recurs aigua i l'assoliment de les seves funcions en el medi: l'abastament a la demanda humana i el desenvolupament de la dinàmica ecohidrològica. No obstant això, els efectes climàtics actuen damunt d'un medi hidrològic que, a conseqüència del règim actual d'explotació, ja presenta un seguit de pressions que l'han deteriorat. Aquestes pressions i els impactes que se'n deriven han estat tipificats en els estudis relacionats en la implantació de la Directiva marc de l'aigua i constitueixen la base per a l'aplicació de mesures de gestió. En segon lloc, s'han estudiat els efectes de les pressions climàtiques damunt les pressions antròpiques i la

manera com aquestes pressions es poden veure modificades mantenint un règim d'explotació potencialment creixent.

D'aquest exercici se'n conclou que:

- El canvi climàtic incrementarà els impactes derivats de les pressions actualment reconegudes sobre les masses d'aigua, i limitarà l'assoliment dels objectius de la DMA,
- Hi ha una interrelació entre els efectes del canvi climàtic sobre els recursos superficials i sobre els recursos subterranis. Les relacions de flux entre la xarxa fluvial i els aquífers (especialment, els de tipus al·luvial i fluviodeltaic) variaran en els nous escenaris climàtics i, per tant, també variarà la disponibilitat d'aigua per a satisfer l'abastament humà i les funcions ecohidrològiques,
- És factible predir una disminució del recurs hidrològic disponible a Catalunya en la previsió futura d'una demanda sostinguda o, més possiblement, creixent. Cal reconèixer que el canvi climàtic afectarà el conjunt del cicle de l'aigua i, per tant, tots els recursos disponibles. No fóra convenient, doncs, l'alternativa d'augmentar la pressió sobre les masses d'aigua que actualment presenten menys vulnerabilitat.
- En l'horitzó de gestió que determina la DMA —tant en el primer termini d'aplicació (2015) com en les futures revisions que preveu, almenys amb vista al segon horitzó (2027) a títol orientatiu i amb l'objectiu d'introduir-les de manera progressiva—, les tendències climàtiques haurien de ser un factor propi en els plans de gestió dels districtes de conca fluvial.

Les observacions assolides han permès determinar la vulnerabilitat territorial en funció dels trets hidrològics de les diferents masses d'aigua. En aquest sentit, amb relació a les masses d'aigua superficial, la major vulnerabilitat per efectes del canvi climàtic se situa en aquelles masses d'aigua que destinen el seu cabal a la demanda antròpica i a la producció hidroelèctrica; principalment les conques hidrogràfiques del sistema mediterrani i les conques altes del Llobregat i del Ter. La interconnexió de xarxes per a l'abastament, amb la regulació dels actuals embassaments, esdevindria una eina eficaç per a garantir les funcions de l'aigua en el futur.

Respecte a la qualitat, la pèrdua de capacitat de dilució en els rius és la causa d'un increment de la vulnerabilitat en aquells trams de la xarxa fluvial on hi ha intensos abocaments urbans o industrials: curs mitjà i baix dels rius Llobregat, Ter i Fluvià, conques de la Tordera i del Francolí, curs baix de l'Ebre. En aquest cas, l'adaptació als nous escenaris implica un major esforç en el tractament i control dels abocaments. Tanmateix, les noves condicions climàtiques poden alterar els equilibris actuals de contaminants actualment en fase sòlida, adsorbits als sediments, i la seva transferència al medi hidrològic.

En relació amb les masses d'aigua subterrànies, la pèrdua de cabal superficial als rius limitarà les relacions hidràuliques amb els aquífers superficials i, per tant, la seva recàrrega. Seran especialment vulnerables les formacions al·luvials del tram mitjà dels rius (Fluvià, Tordera, Segre, Ebre...), formacions fluviodeltaiques (Fluvià-Muga, Ter, Tordera, Llobregat, Ebre) i altres al·luvials menors.

La disminució de la recàrrega procedent de la precipitació augmentarà la vulnerabilitat de les formacions hidrogeològiques esmentades en el punt anterior. En termes generals, l'afecció serà més important en aquells sistemes de flux local, de poca extensió espacial i fortament dependents de la recàrrega en els mesos precedents.

Els sistemes hidrogeològics a escala regional presentaran una vulnerabilitat menor, atesa la seva configuració geològica i estructural, el gran volum de recurs que contenen, i el ritme de transferència dels efectes en forma del moviment de l'aigua emmagatzemada. Són les masses d'aigua subterrànies dels Pirineus i de les serralades Transversal i Prelitoral. En aquest grup queden excloses les zones càrstiques que presenten una dinàmica pròpia i considerablement més vulnerable a la disminució de la recàrrega; territorialment, corresponen a les formacions calcàries del Pirineu (conca alta del Llobregat) i Prepirineu (serra del Montsec, conca de Tremp i serres marginals), i del sistema mediterrani (Garraf, Cardó-Vandellòs).

Les pressions relacionades amb la qualitat s'associen principalment a la presència de nitrats i de contaminants d'origen industrial. L'augment de la vulnerabilitat, això no obstant, estarà més

associat a les alteracions de la dinàmica hidrològica natural, a causa del canvi climàtic, o antròpiques, resultants d'una modificació de l'explotació del recurs i de la magnitud dels abocaments.

En ambdues tipologies de masses d'aigua, la vulnerabilitat ha estat analitzada des d'una perspectiva qualitativa que ha permès distingir aquelles que, per raons hidrològiques, hidrogeològiques o antròpiques, són més sensibles als factors climàtics. L'ús d'indicadors i criteris quantitius, de natura diversa, hauria de permetre valorar la magnitud dels possibles canvis associats als factors climàtics i fer-ne el seguiment. Definir-los i aplicar-los amb la major objectivitat és la tasca immediata que ha d'assenyalar l'abast dels efectes del canvi climàtic en la dinàmica dels sistemes hidrològics de Catalunya, molts d'ells ja amb severes pressions humanes.

En síntesi, la vulnerabilitat territorial ha estat, doncs, descrita en base als elements hidrològics i climàtics, i a les pressions reconegudes. No obstant això, el grau de vulnerabilitat, és a dir, de capacitat del sistema hidrològic de fer front a circumstàncies adverses presents o futures, depèn finalment de la capacitat de gestionar l'aigua, transformant el cicle hidrològic en un context de sostenibilitat, per a garantir les funcions que li són pròpies. En altres mots, els sistemes hidrològics seran menys vulnerables en la mesura que la capacitat d'actuació sobre aquests sistemes sigui més intensa i meritoria. Els nous plans hidrològics de conca, amb les decisions tècniques i polítiques que els pertocuin, esdevenen, doncs, una eina essencial per a disminuir la vulnerabilitat de les masses d'aigua al canvi climàtic.

Referències

- ACA (2002). *Estudi de caracterització i prospectiva de les demandes d'aigua a les conques internes de Catalunya i a les conques catalanes de l'Ebre*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua.
- (2005). *Caracterització de masses d'aigua i anàlisi del risc d'incompliment dels objectius de la directiva marc de l'aigua (2000/60/CE) a Catalunya (conques intra i intercomunitàries)*. Document IMPRESS. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua.
- (2008). *Document guia per a la redacció del Pla de Gestió de l'Aigua a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua. Gener de 2008.
- ACA-FNCA (2009). «Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya». 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua-Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua.
- ALLEY, W.M.; LEAKE, S.A. (2004). «The journey from safe yield to sustainability». *Ground Water* 42, p. 12-16.
- BREDEHOEFT, J.D. (1997). «Safe yield and the water budget myth». *Ground Water* 35, p. 929.
- (2002). «The water budget myth revisited: why hydrogeologists model?». *Ground Water* 40, p. 340-345.
- BREDEHOEFT, J.D.; PAPADOPOULOS, S.S.; COOPER H.H. Jr (1982). «The water budget myth». A: *National Research Council, Scientific Basis of Water Resources Management*, National Academy Press, p. 51-57.
- BREUER, L.; KIESE, R.; BUTTERBACH-BAHL, K. (2002). «Temperature and moisture effects on nitrification rates in tropical rain-forest soils». *Soil Sciences Society of America Journal* 66, p. 834-844.
- CALBÓ, J.; CUNILLERA, J.; LLASAT, C. [et al.] (2009). «Projeccions climàtiques per a Catalunya». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua.
- COOLEY, H. (2009). «Water Management in a changing climate». A: GLEICK, P. (2009). *The World's Water 2008-2009*. IslandPress, p. 39-56.
- CUSTODIO, E. (2002). «Aquifer overexploitation: what does it mean?». *Hydrogeology Journal* 10: 254-277.
- (2009). «Coastal aquifers of Europe: an overview». *Hydrogeology Journal* 18: 269-280.
- DEVLIN, J.F.; SOPHOCLEOS, M. (2005). «The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability». *Hydrogeology Journal*, 13: 549-554.
- EEA (2008). *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment*. EEA Report n. 4/2008. European Environmental Agency.

- FOLCH, A. (2010). *Geological and human influences on groundwater flow systems in range-and-basin areas: the case of the Selva Basin (Catalonia, NE Spain)*. Universitat Autònoma de Barcelona. (Tesi doctoral).
- GALBIATI, L. (2009). «La Directiva marc de l'aigua i el canvi climàtic». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 323-329.
- GALLART, F. (2009). «Canvis temporals observats en les sèries de cabals». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 105-114.
- GRIMALT, J.; GINEBREDÀ, A. (2009). «Canvi climàtic i qualitat química del medi aquàtic». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua. Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 167-182.
- HOLMAN, I.P. (2006). «Climate change impacts on groundwater recharge-uncertainty, shortcomings, and the way forward?». *Hydrogeology Journal* 14: 637-647.
- INM (2007). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología.
- HANCOCK, P.J. (2002). «Human impacts on the stream-groundwater exchange zone. *Environmental Management* 29: 763-781
- IPCC (2001). *Climate Change, 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel for Climate Change, Contribution of Working Group II to the 3rd Assessment Report. Cambridge University Press.
- (2007). *Climate Change, 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel for Climate Change, Contribution of Working Group II to the 4th Assessment Report. Cambridge University Press.
- KOOI, H.; GROEN, J.; LEIJNSE, A. (2000). «Models of sea-water intrusion during transgressions». *Water Resources Research* 36, p. 3581-3589.
- KUNDZEWICZ, Z.W., MATA, L.J.; ARNELL, N.W. et al. (2007). «Freshwater resources and their management». A: IPCC, (2007). *Climate Change, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change, Contribution of Working Group II to the 4th Assessment Report*. Cambridge University Press, p. 173-210.
- LLEBOT, J.E., [ed.] (2005). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans.
- MANZANO, A. (2009a). «Exemples de modelització hidrològica del règim mitjà dels rius catalans en escenaris futurs». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona, Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 127-142.
- (2009b). «Efectes sobre la variabilitat hidrològica i els fenòmens extrems; exemples de modelització hidrològica d'aiguats i sequeres en escenaris futurs». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona, Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 153-166.
- MAS-PLA, J. (2006). «Aspectes hidrològics de la Directiva marc de l'aigua». A: MAS-PLA, J., [ed.], *La Directiva marc de l'aigua a Catalunya: Conceptes, reptes i expectatives en la gestió dels recursos hídrics*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Dept. de la Vicepresidència, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, p. 27-52.
- (2005). «Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic». A: LLEBOT, J. [ed.] (2005). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: CADS i Institut d'Estudis Catalans, p. 485-516.
- MAS-PLA, J.; MENCÍO, A. (2008). «Estudi hidrològic de la Tordera: Elements per al seguiment de la biodiversitat i la gestió de l'aigua». A: BOADA, M., MAYO, S.; MANEJA, R. [Coord.]. *Els sistemes socioecològics de la conca de la Tordera*. Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural, p. 245-274.
- MAS-PLA, J.; ORTUÑO, F. (2009). «Anàlisi territorial de la vulnerabilitat dels recursos hídrics davant del canvi climàtic». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*.

- 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 183-194.
- MASTERSON, J.P.; GARABEDIAN, S.P. (2007). «Effects of sea-Level rise on ground water flow in a coastal aquifer system», *Ground Water* 45, p. 209-217.
- MENCIÓ, A. (2006). *Anàlisi multidisciplinària de l'estat de l'aigua a la depressió de la Selva*. Universitat Autònoma de Barcelona. (Tesi doctoral)
- MENCIÓ, A.; FOLCH, A.; MAS-PLA, J. (2010). «Analizing hydrological sustainability through water balance». *Environmental management*, 45, p. 1175-1190.
- MENCIÓ, A.; MAS-PLA, J.; OTERO, N. [et al.] (2007). «Dinámica de la contaminación por nitrato en el sistema acuífero de la Plana de Vic (Osona, Barcelona)». *Geogaceta* 41, p. 123-126.
- MEYBECK M.; VÖRÖSMARTY, C. (2004). «The Integrity of River and Drainage Basin Systems: Challenges from Environmental Changes». A: KABAT P. et al. (eds), *Vegetation, Water, Humans and the Climate: a New Perspective on an Interactive System*. Springer Verlag
- MOLIST, J.; MANZANO, A. (2009). «Riscos sobre la gestió dels recursos hídrics». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua-Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 195-207.
- MORENO, J.M. (ed.) (2005). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático*. Madrid: Ministerio de Medioambiente.
- OTERO, N.; TORRENTÓ, C.; SOLER, A. [et al.] (2009). «Monitoring groundwater nitrate attenuation in a regional system coupling hydrogeology with multi-isotopic methods: the case of Plana de Vic (Osona, Spain)». *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133, p. 103-113.
- ORTUÑO, E.; JÓDAR, J.; CARRERA, J. (2009). «Canvi climàtic i recàrrega d'aqüífers a Catalunya». A: ACA-FNCA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua-Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 143-152.
- PALAU, J. (2008). *Aplicación de la composición isotópica del carbono de compuestos orgánicos volátiles en acuíferos contaminados por disolventes clorados*. Barcelona: Universitat de Barcelona. (Tesi doctoral).
- RAMONELL, C.; MENCIÓ, A.; MAS-PLA, J. [et al.] (2008). «Distribución de la contaminación por nitrato en las aguas subterráneas de la cuenca del río Manol (Alt Empordà, NE España)». *Geotemas* 10.
- ROVIRA, M. (2008). *La conca salina del Bages i la qualitat de l'aigua del Llobregat*. Manresa: Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa. (Tesi doctoral).
- SABATÉ, S. (2009). «Els boscos i l'evapotranspiració». A: ACA-FNCA (2009). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. 3r Conveni Agència Catalana de l'Aigua-Fundació Nova Cultura de l'Aigua. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Dept. de Medi Ambient i Habitatge, Agència Catalana de l'Aigua, p. 115-126.
- SEAR, D.A., ARMITAGE, P.D.; DAWSON, F.H. (1999). «Groundwater dominated rivers». *Hydrological Processes* 13, p. 255-276.
- SOLER, A., PUIG R.; OTERO, N. [et al.] (2009). «La contaminació per nitrats de les aigües subterrànies de Catalunya». A: BORRÀS, G.; BALASCH, R.; URGELL, A. (eds.), *Els Guardians de l'Aigua*. Clipmedia Edicions, p. 368-381.
- SOPHOCLEOS, M. (2000). «From safe yield to sustainable development of water resources: the Kansas experience». *Journal of Hydrology* 235, p. 27-43.
- (2002). «Interactions between groundwater and surface water: the state of the science». *Hydrogeology Journal* 10, p. 52-67.
- TEIRA, M.R. (2008). *Informe per a la millora de la gestió dels purins porcíns a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. (Informes del CADS, 5).
- TUINHOF, A.; OLSTHOORN, T.; HEEDERIK, J.P. [et al.] (2005). «Groundwater storage and water security: making better use of our largest reservoir». *Water Science & Technology* 51(5), p. 141-148.

9. La variabilitat climàtica i la costa catalana

Agustín Sánchez-Arcilla, Cesar Möso, Joan Pau Sierra i Mercè Casas Prat*

Laboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya i Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners.

Agustín Sánchez-Arcilla Conejo (Madrid, 1955) Doctor enginyer de Camins per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i catedràtic del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (DEHMA) de la UPC. Des de 1990 és director del Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC) del DEHMA, on desenvolupa la seva activitat investigadora en l'àmbit de la enginyeria marítima (portuària i costanera). Fou un des impulsors de la creació del Centre Internacional d'Investigació del Recursos Costaners (CIIRC) del qual actualment és vicepresident. En l'àmbit acadèmic, és professor a la ETSICCP de Barcelona on imparteix diverses assignatures. Impulsor i coordinador del Màster en Enginyeria i Gestió Portuària, del Màster Internacional en Gestió de Zones Costaneres i Estuàriques i del Doctorat interuniversitari en Ciències del Mar (UPC/UB/CSIC). Impulsor del Màster Oficial interuniversitari UB-UPC en Ciències del Mar: Oceanografia i Gestió del Medi Mari, i del Màster Erasmus Mundus Coastal and Marine Engineering and Management - CoMEM. Ha publicat més de 15 llibres i 70 articles en revistes nacionals i internacionals. També ha dirigit 21 tesis doctorals. Ha participat en més de 25 projectes europeus de recerca.

César Möso Aranda (Mèxic, 1969) Doctor en Ciències del Mar per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i professor agregat del Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental (DEHMA) de la UPC. Des de 1995 és col·laborador en el Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC) del DEHMA, on desenvolupa la seva activitat investigadora en l'àmbit de la enginyeria marítima (portuària i costanera). En l'àmbit acadèmic, és professor a la ETSECCP de Barcelona on imparteix diverses assignatures. Impulsor i coordinador del Màster Erasmus Mundus Coastal and Marine Engineering and Management - CoMEM. Ha publicat més de 30 articles en revistes nacionals i internacionals. També ha dirigit dues tesis doctorals. Ha participat en més de 14 projectes d'investigació nacionals i europeus.

Joan Pau Sierra és Doctor enginyer de Camins, Canals i Ports per la Universitat Politècnica de Catalunya. En l'actualitat és catedràtic d'Universitat a la UPC amb 25 anys d'experiència professional en recerca i transferència de tecnologia en el camp de l'Enginyeria Marítima, en particular en modelatge numèric i estudi de processos físics hidrodinàmics i de dispersió de contaminants en zones costaneres i estuàriques. Ha participat en 11 projectes europeus i uns 20 projectes nacionals de recerca i en uns 50 contractes de recerca aplicada per a empreses i administracions públiques. Com a resultat ha publicat més de 50 articles en revistes científiques, 10 capítols de llibre i unes 140 comunicacions en congressos.

Mercè Casas Prat (Sant Celoni, Barcelona, 1985) Enginyera de Camins, Canals i Ports per la Universitat Politècnica de Catalunya, amb premi al segon millor expedient de la promoció. Realitzà la tesina final de carrera a TU Delft (Països Baixos) i posteriorment la presentà a un congrés internacional d'enginyeria de costes (ICCE 2008). Va ser acceptada per a la seva publicació en una revista científica. Actualment està realitzant el doctorat en Enginyeria Civil de l'ETSECCPB al Laboratori d'Enginyeria Marítima, estudiant els impactes del canvi climàtic sobre la costa catalana. Fruit d'aquesta activitat de recerca ha participat en congressos d'àmbit internacional i ha obtingut el *Med-Storm Prize for Young Researchers*, atorgat per la *CIMA Research Foundation* (Setembre 2009). També col·labora en projectes d'àmbit estatal (ARCO) i europeu (CIRCE).

* Els autors volen agrair al projecte europeu CIRCE (ref. TST5-CT-2007-036961) i al projecte ARCO (ref. 200800050084350) de la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic del Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí, el finançament parcial del treball. També agraeixen a l'organisme públic Puertos del Estado i al Servei Meteorològic de Catalunya el subministrament de les dades emprades.

Resum i paraules clau	347
Introducció	349
9.1. Àrea d'estudi	350
9.2. Dades disponibles	351
9.3. Termes impulsors	351
9.4. Discussió	365
9.5. Conclusions	367
Referències	368

Resum

Aquest capítol tracta de l'estudi dels forçaments climàtics a la costa catalana i dels riscos potencials que poden provocar els canvis en aquests forçaments. Primer s'analitzen tendències de forçament que tenen en compte les sèries temporals disponibles de dades meteo-oceanogràfiques enregistrades. Aquí es mostra un augment de les temperatures i de la freqüència d'ocurrència de marees meteorològiques, mentre que els senyals d'alçada d'ona i nivell del mar no indiquen cap tendència significativa a mitjà/llarg termini. D'altra banda, a partir de dades d'onatge simulades, es detecten canvis en la freqüència direccional de presentació de les tempestes. Posteriorment, es tracta la resposta costanera en temes d'erosió i qualitat de l'aigua a la zona de

vora. Finalment, es presenta un marc general per avaluar riscos tant físics com d'origen biològic. Els resultats mostren un augment de la tendència erosiva, ja present a les nostres costes, i un risc de degradació progressiva de la qualitat de les aigües costaneres. Aquestes conclusions s'han de fer servir amb precaució, ja que són una extrapolació a partir de dades limitades, i tot dins d'un plantejament simplificat d'acord amb la resolució i cobertura de les dades disponibles.

Paraules clau

Mediterrani, costa, forçaments climàtics, erosió, qualitat de l'aigua.

Introducció

Durant aquest segle, la societat afrontarà cada vegada més impactes de canvi global com ara contaminació, ús del territori i canvi climàtic (Metzger i Schröter, 2006). La temperatura de la superfície mitjana global ens proporciona una il·lustració «robusta», que preveu un augment d'1,1-6,4 °C el 2100 (Bates *et al.*, 2008), amb uns valors centrals o millor estimació d'1,8-4 °C, que és el que apareix a l'informe de l'IPCC (Christensen *et al.*, 2007), malgrat que la resolució espacial d'aquest treball és molt pobre per a la Mediterrània occidental.

En general, la comunitat científica està d'acord que és més probable que els impactes de canvi climàtic resultin de l'alteració de la variació del clima i els seus extrems, que dels canvis en el clima mitjà (Goubanova i Li, 2007). Qualsevol intensificació i/o augment en el nombre de catàstrofes suposa implicacions socioeconòmiques desastroses tant en països desenvolupats com en procés de desenvolupament (Changnon, 2003). En efecte, els experiments de modelatge del clima global suggereixen que els extrems de clima es poden tornar més severos a causa de les altes concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle, que estan augmentant en la major part de regions del globus (Kharim i Zwiers, 2000; Voss *et al.*, 2002).

Successos extrems més importants o més freqüents (tempestes, inundacions, etc.) associats amb canvi climàtic ocasionarien danys materials, desplaçament de població i efectes adversos sobre la producció alimentària i la disponibilitat d'aigua dolça i de qualitat. També augmentaria el risc de malalties contagioses i transmeses per vectors, especialment en països en procés de desenvolupament com, per exemple, les costes del sud de la Mediterrània (Moreno, 2006). Els sectors primaris, com ara l'agricultura, seran més sensibles al canvi climàtic que els sectors secundaris i terciaris, com ara indústria i serveis. No obstant això, també es pot veure afectada una part del sector terciari. Per exemple, el clima és un recurs crucial per al turisme, així que les variacions del clima tindrien un impacte profund en aquest sector, ja que pro-

duirien canvis en els patrons de demanda (Hamilton i Tol, 2007).

El canvi climàtic també té el potencial per modificar significativament les condicions de cultiu i recol·lecció a causa de variacions en el règim de precipitació, que afectarien el rendiment considerablement (Torriani *et al.*, 2007). El canvi climàtic s'espera que tingui impactes positius només en països del nord d'Europa (al nostre hemisferi), cosa que implica que les àrees més favorables per al conreu es puguin expandir cap a latituds més altes (Olesen *et al.*, 2007). Les àrees del sud (com ara els països mediterranis) probablement hauran de fer front a l'escassetat creixent d'aigua i a una major freqüència d'esdeveniments adversos extrems, que reduiran els rendiments de les collites i l'àrea per cultivar. A més, és probable que les temperatures més altes augmentin els requisits d'aigua per al conreu i, així, es necessitarà més aigua de reg per hectàrea (Rodríguez Díaz *et al.*, 2007). S'han realitzat diferents estudis sobre els impactes de canvi climàtic en produccions agrícoles, on s'ha estat actuant en diferents àmbits (Iglesias *et al.*, 2000; Saarikko, 2000; Chen *et al.*, 2004; Parry *et al.*, 2004; Trnka *et al.*, 2004; Reidsma *et al.*, 2009), però la conclusió global no canvia proporcionalment amb l'escala, encara que hi ha una variabilitat espacial molt pronunciada a través de la conca mediterrània.

En particular, les regions costaneres baixes, com deltes o badies, estan subjectes a una sèrie de factors de forçament que dinàmicament interaccionen amb els sistemes geològic i ecològic. Aquestes àrees són sensibles de manera especial a canvis en els forçaments climàtics. En particular, els sistemes deltaics mostren les conseqüències de moltes classes de canvis antropogènics, com ara les variacions en el cabal líquid del riu (regulació de fluxos) i en el cabal de sediments del riu (efecte barrera de preses), ja que estan afectats per canvis en el nivell relatiu del mar (SLR) i factors atmosfèrics i marins (precipitació, vent, onatge). Els sistemes deltaics són, en definitiva, ecosistemes altament sensibles, subjectes als elements que hi interaccionen: el riu,

el mar, els sediments i els factors atmosfèrics (Sánchez-Arcilla i Jiménez, 1997). Les badies costaneres també estan influenciades per factors meteo-oceanogràfics, així com els límits naturals o construïts que poden actuar de barrera restringint el pas de l'aigua i afectant-ne, així, la qualitat (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2007). Els canvis associats a modificacions d'usos del sòl s'han convertit en un factor impulsor clau i indicador de canvi mediambiental. Associades a conflictes entre usos passats i presents o entre prioritats econòmiques i ecològiques (Hill *et al.*, 2008), les grans àrees europees de la Mediterrània estan afectades per una degradació del territori que pot conduir a una desertificació creixent.

En zones costaneres, les inundacions també succeeixen a causa de temporals d'onades generades, principalment, a causa de la tensió tangencial del vent a la superfície de l'oceà i a la pujada del nivell mitjà, deguda també a les diferències de pressió atmosfèrica causades per les condicions climatològiques (Kurian *et al.*, 2009). Això, juntament amb l'escalfament global antropogènic, fa esperar un augment en les freqüències d'inundació durant aquest i els pròxims segles. La pujada del nivell del mar augmentaria la vulnerabilitat de les poblacions costaneres i dels ecosistemes, i negaria permanentment les zones de menys altitud, amb episodis d'inundacions a les zones interiors, cosa que faria augmentar l'erosió de les platges i provocaria intrusió salina als aqüífers (Cooper *et al.*, 2008). Aquestes tempestes d'onatge poden tenir conseqüències importants sobre el risc i la gestió d'activitats a mar obert, com ara trànsit de vaixells i, fins i tot, en els usos i recursos costaners (Lionello *et al.*, 2008).

El propòsit d'aquest article és caracteritzar els forçaments climàtics (termes impulsors) principals que afecten la costa catalana (especialment sensible al canvi climàtic) i avaluar-ne els riscos potencials (figura 1). L'estudi se centra en una àrea amb una gran varietat de trets i ambients. La diversitat d'ambients es reflecteix també en el conjunt de dades disponibles, limitades en el temps, restringides en la cobertura espacial i que mostren buits d'informació importants.

9.1. Àrea d'estudi

El Mediterrani és un mar semitancat, localitzat entre tres continents dins de la zona humida de l'hemisferi nord. Té al voltant de 46.000 km de costa, i aproximadament un 50% de la població del paísos riberencs habita a la franja costanera (al voltant de 100 milions de persones). Per aquest motiu, el Mediterrani és molt vulnerable a les activitats humanes, a la variabilitat climàtica i a les seves interaccions. Dins d'aquest treball s'estudiaran específicament les marees meteorològiques al port de Barcelona, i així mateix, les distribucions probabilístiques d'alçada d'ona al cap de Tortosa (figura 1b).

La localització de la costa catalana, juntament amb la topografia local, exerceix un control significatiu sobre el clima de vent, que es caracteritza per vents de mitjana i baixa intensitat, encara que alguns esdeveniments sinòptics són els responsables de vents forts en aquesta regió (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008a). A més, aquesta zona també presenta alguns trets especials que determinen el clima d'onatge, amb una àrea de generació limitada (a causa de la presència de les Illes Balears), una alta variabilitat en temps i espai (Mössó *et al.*, 2007) i períodes de calma durant l'estiu amb tempestes energètiques d'octubre a maig. Aquest clima d'onatge té una estructura estacional molt definida, amb alçades d'ona significatives, la mitjana anual de la qual és inferior a 1 m (Garcia *et al.*, 1993; Sierra *et al.*, 2002).

Com gran part de la costa mediterrània, aquest és un ambient micromareal, segons els diferents mareògrafs situats en aquesta zona, amb un rang màxim de marea astronòmica observada al voltant dels 30 cm, aproximadament. Les marees meteorològiques són també comunes, amb intensitats de fins a 1 m per a condicions de tempesta típiques (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008b). En algunes àrees també hi ha subsidència, per exemple al delta de l'Ebre, on la mitjana és d'entre 1,5 i 3 mm per any (Sánchez-Arcilla *et al.*, 1996).

El resultat de tenir les ones energètiques aproximant-se des de l'est i el nord-est origina un transport de sediments de mitjana cap el sud-oest (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2005a) amb dipòsits localitzats al costat nord-est de les barreres (naturals o artificials) i una erosió forta al costat sud-oest (a recer d'aquests obstacles).



Figura 1. La conca del Mediterrani occidental. S'hi indica l'àrea d'estudi que correspon a la costa catalana.

9.2. Dades disponibles

Les dades obtingudes del port de Barcelona han estat proporcionades per l'organisme Puertos del Estado, depenent del Ministeri de Foment. Les dades d'onatge i nivells al delta de l'Ebre provenen de la xarxa oceanogràfica XIOM, de la Generalitat de Catalunya. Les dades numèriques han estat obtingudes pel projecte de recerca HIPOCAS, també gràcies a Puertos del Estado. Les sèries de dades atmosfèriques i oceanogràfiques restants han estat recopilades de fonts diverses. Un resum d'aquesta informació s'inclou a continuació:

- Sèries de mareas al port de Barcelona des del 1992 fins al 2007.
- Sèrie d'onatge al cap de Tortosa (delta de l'Ebre) des del 1990 fins al 2006.
- Sèries simulades (retroanàlisi) que inclouen dades d'onatge, vent i nivell mitjà del mar des del 1958 fins al 2001.

A l'hora de realitzar una anàlisi de tendències emmarcada en un estudi de canvi climàtic, és important disposar d'una bona base de dades. Tot i els avantatges d'utilitzar mesures reals (com ara enregistraments de boies), aquestes no són sempre adequades per a les anàlisis a mitjà/llarg termini, ja que presenten limitacions temporals (la longitud de les sèries de dades no és prou gran) i espacials (queden àrees relativament extenses sense dades). Per tant, sovint s'utilitzen dades procedents de reanàlisi, com en aquest cas, basat en els resultats del projecte HIPOCAS (Guedes Soares *et al.*, 2002). Aquest estudi inclou 44 anys (1958-2001) de simulacions de paràmetres com ara l'alçada d'ona significant (H) i la direcció mitjana de l'onatge (D), en una malla que comprèn tot el mar Mediterrani, amb una resolució de 12,5 km a la zona propera a la costa catalana. D'aquesta malla s'extreuen els 40 nodes que voregen la costa (vegeu la figura 2).

A part d'aquestes dades simulades, s'ha treballat amb la sèrie de dades enregistrades més llarga disponible, que és la de la boia del cap de Tortosa, al delta de l'Ebre (registres entre 1990 i 2006).

9.3. Termes impulsors

Plantejament

Un dels indicadors més fiables del canvi climàtic és la temperatura de l'aire. Durant el segle xx, a gran part d'Europa s'ha detectat un augment en les temperatures de l'aire superficial. Aquest increment ha estat més accentuat a la Rússia nord-occidental i a la península ibèrica (Nicholls *et al.*, 1996), i ha suggerit que al sud d'Europa el resultat del canvi climàtic serà més negatiu (Maracchi *et al.*, 2005).

Les tendències globals del nivell mitjà del mar i les oscil·lacions de baixa freqüència estan dominades pel component estèric i l'augment del volum d'aigua oceànica associada (Levitus *et al.*, 2000; Calafat i Gomis, 2009). Tanmateix, a escala regional, la pressió atmosfèrica i el vent també poden jugar un paper clau per a la zona Mediterrània (per exemple Gomis *et al.*, 2008).

Atesa l'amplitud limitada de la marea astronòmica a la costa catalana, les ones generades pel vent són el factor meteo-oceanogràfic més energètic. Les sèries observacionals disponibles abasten menys de tres dècades, la qual cosa suggereix l'ús de sèries

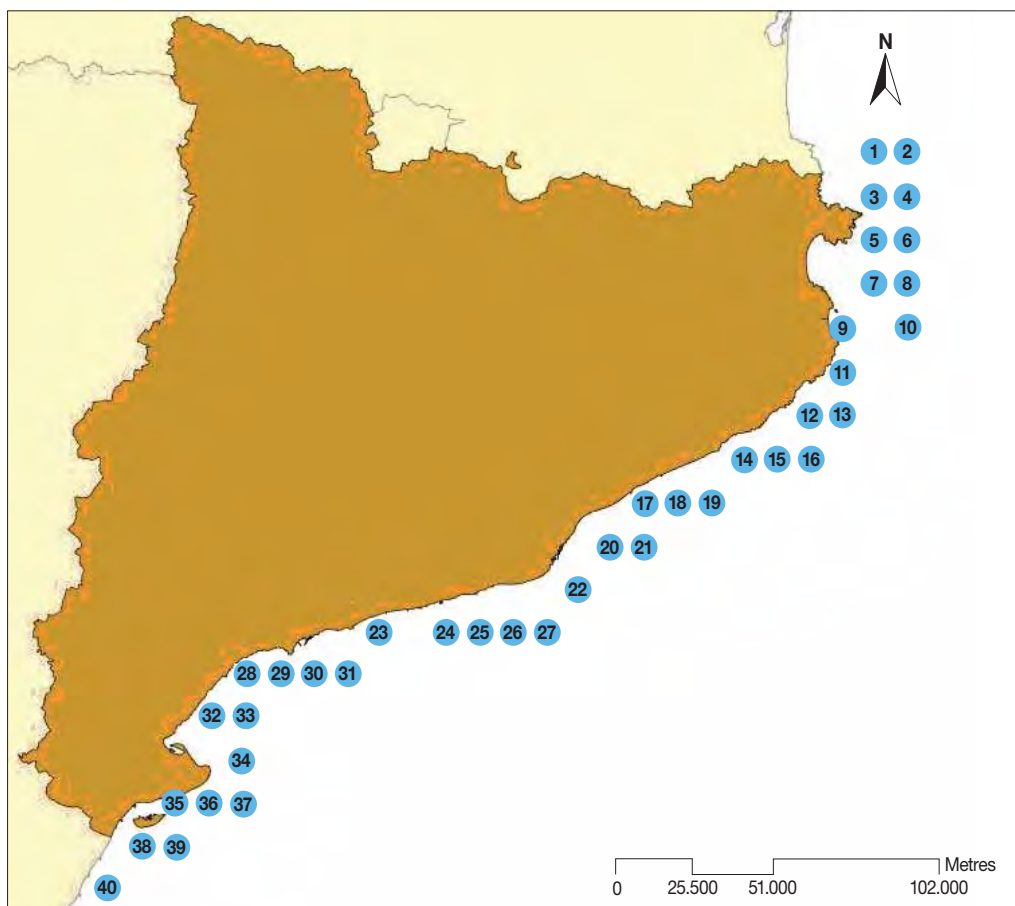


Figura 2. Situació i numeració dels nodes utilitzats per a la retrosimulació i les anàlisis posteriors

generades numèricament. Tanmateix, els camps numèrics s'haurien d'utilitzar amb cura, ja que la precisió d'ones pronosticades és significativament més petita que per a condicions de mar obert (Bolaños *et al.*, 2004; Cavaliere i Bertotti, 2004).

Algunes anàlisis suggereixen un clima de tempestes més suau en un futur proper, a causa de la reducció de l'alçada d'ona significant relacionada amb una disminució del vent en superfície. Aquesta reducció de la intensitat del forçament meteorològic és coherent amb la disminució global de precipitacions i el desplaçament de les tempestes cap el nord, tal com pronostiquen la majoria dels models a l'àrea Mediterrània (Lionello *et al.*, 2008). No obstant això, durant les darreres dècades, el nord-oest de la Mediterrània ha experimentat alguns esdeveniments de tem-

pesta severs, caracteritzats per ones i vents importants (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008a).

Nivell del mar

La pujada del nivell del mar és un indicador important de canvi climàtic, sobretot en zones costaneres semitançades com les del Mediterrani. Aquesta pujada augmenta la probabilitat d'inundació per mareas meteorològiques, reforça la intrusió d'aigua salada i amenaça, mitjançant l'erosió i la inundació, els ecosistemes costers. Aquests ecosistemes naturals també mantenen sectors econòmics i centres urbans importants. Per tant, un risc d'inundació més alt augmenta la possibilitat de pèrdua de vida i propietats, així com els danys en les mesures de protecció i les infraestructures. Això, per tant, hauria d'ocasio-

nar una degradació de les activitats costaneres com l'oci, el transport, etc.

Un canvi al nivell mitjà del mar (MSL) a la costa pot tenir diversos orígens, com ara el moviment vertical de la placa tectònica considerada. Això s'aplica a la conca Mediterrània situada al límit d'una placa geològica activa, de manera que qualsevol increment en el nivell mitjà del mar es pot veure accentuat o minimitzat localment per moviments tectònics. L'MSL també pot variar a causa de canvis locals per l'efecte de la temperatura, del vent prevalent i de corrents marins, o per un canvi en el volum dels oceans del món, controlats principalment per la temperatura.

S'accepta generalment que el nivell del mar global ha augmentat entre 10 i 25 cm durant els últims 100 anys (per exemple, Raper *et al.*, 2001), i s'espera que la pujada continuarà en un futur pròxim, i fins i tot s'accelerarà, encara que la gamma de prediccions i models és tan gran que una previsió precisa és impossible. Nicholls i Hoozemans (1996) assenyalen que el nivell del mar podria augmentar entre 0,2 i 0,9 m cap a l'any 2100, amb valors mitjans previstos de 0,5 m. En els darrers cent anys, el nivell del mar mitjà europeu i global ha augmentat de 10 a 20 cm, amb un valor central de 15 cm (IPCC, 2001). Actualment, el nivell del mar a les costes mediterrànies està augmentant a una velocitat d'1 mm/any (Marsella), 1,3 mm/any (Gènova o Trieste), o 2,6 mm/any (Venècia), que és proper a la mitjana global

(Liebsch *et al.*, 2002). És raonable pensar que la tendència observada en la pujada de nivell del mar durant els últims 100 anys és atribuïble, principalment, a un augment en el volum d'aigua dels oceans (pel desglaç i la dilatació) com a conseqüència de l'escalfament global. Les variacions locals podrien ser explicades per alguns dels altres processos esmentats anteriorment.

Les sèries de dades disponibles més llargues a la costa catalana són dades de retroanàlisi (HI-POCAS) des del 1958 fins al 2001 (Ratsimandresy *et al.*, 2008), que corresponen a la marea meteorològica, però no inclouen les variacions eustàtiques del nivell del mar. També hi ha les observacions de marea dins del port de Barcelona des del 1992 fins al 2007 i dades de l'Amfolla i Sant Carles de la Ràpita des del 1992. Aquestes observacions, lògicament, inclouen l'efecte de la marea meteorològica, l'ascens eustàtic del nivell del mar i les possibles variacions tectòniques.

La sèrie de dades de marees meteorològiques del port de Barcelona (figura 3) mostra com el nivell mitjà del mar fluctua al voltant de 0. Durant aquest període, també hi ha oscil·lacions per la marea meteorològica. A set dels setze anys analitzats, el nivell mitjà anual va ser més petit que l'any precedent, i més elevat durant els nou anys restants. La tendència general mostra una lleugera disminució, malgrat que la seva significança estadística és molt baixa i no permet cap conclusió definitiva.

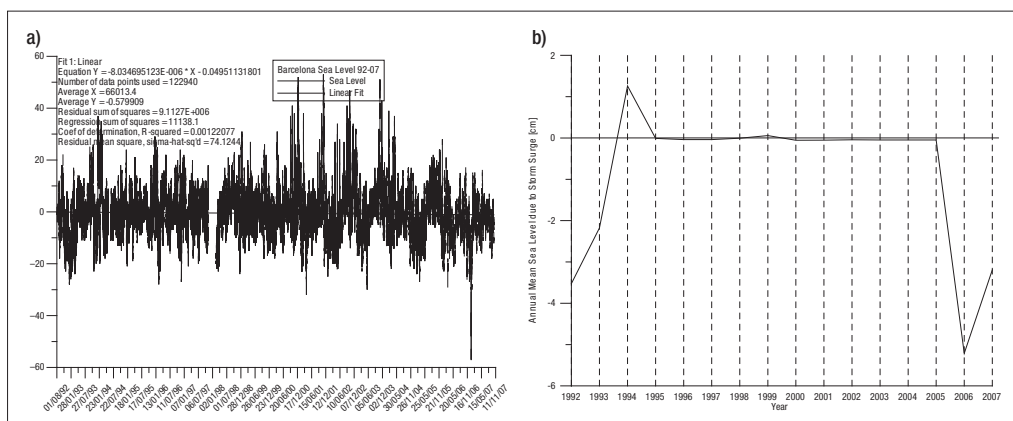


Figura 3. Variacions del nivell del mar descomptant la marea astronòmica i que mostren: a) la sèrie temporal enregistrada i b) el nivell mitjà anual. Les dades corresponen al port de Barcelona, del 1992 al 2007.

El nivell mitjà anual va romandre per sobre de zero els anys 1994 i 1999. La resta del temps, aquest nivell mitjà va estar per sota de zero. Va assolir valors mínims els anys 1993, 2006 i 2007.

Els nivells (marees meteorològiques) simulats provenen del projecte europeu HIPOCAS i mostren, de la mateixa manera que per a les dades observades, una fluctuació al voltant de zero. La tendència general (figura 4) també és decreixent i en aquest cas amb un nivell més alt de significança estadística.

Fent servir una extrapolació d'aquesta tendència, s'espera que el nivell mitjà baixi per sota de zero l'any 2018. S'ha de remarcar, no obstant això, que a partir del 1992 tant les dades simulades com les mesures indiquen un trencament d'aquesta variació i que comença un nou cicle ascendent del nivell mitjà del mar.

Per al cas de la costa catalana, les dades numèriques i mesures suggereixen que el nivell del mar ha disminuït lleugerament durant l'interval de temps considerat. La baixada relativa obtinguda de les dades mesures és de només $-0,04$ cm per dècada, mentre que les dades modelades suggereixen una disminució més pronunciada, de $-0,54$ cm per dècada. En tots dos casos se suposa que el nivell de la terra roman constant, ja que a partir dels estudis geològics recents no és possible fer una proposta quantitativa precisa. Malgrat això, és raonable suposar que l'augment accelerat de les temperatures induirà

una pujada dels nivells del mar arreu del Mediterrani.

Tempestes d'onatge

Dins l'àmbit del medi costaner, com a conseqüència del canvi climàtic, no solament s'esperen canvis en el nivell mitjà del mar. Les interaccions amb els processos atmosfèrics poden desembocar en variacions en el patró de vents superficials i, al seu torn, afectar substancialment la configuració de l'onatge. En particular, quantificar possibles modificacions del clima extrem esdevé un tasca important, ja que aquestes variacions estan intrínscament lligades a les situacions de més risc.

Cal destacar que, a la costa catalana, dins d'un mar semitancat, el clima d'onatge és complex, definit com a torrencial per Sánchez-Arcilla *et al.* (2008a). A banda dels efectes d'activitat sinòptica a gran escala, la topografia i batimetria locals fan que les tendències temporals obtingudes a gran escala no siguin directament aplicables en l'àmbit regional i, per tant, siguin necessàries projeccions més detallades. Actualment, gairebé tota la costa catalana està dominada per onatge provinent de l'est (E), en què el major *fetch* (fins a l'illa de Sardenya, 600 km, aproximadament) coincideix amb velocitats del vent elevades. A la Costa Brava, la presència de la direcció nord (N), tot i ser menys energètica, és també notable i, en general, la direcció sud (S) esdevé la tercera més freqüent, tot i que amb intensitats menors, a

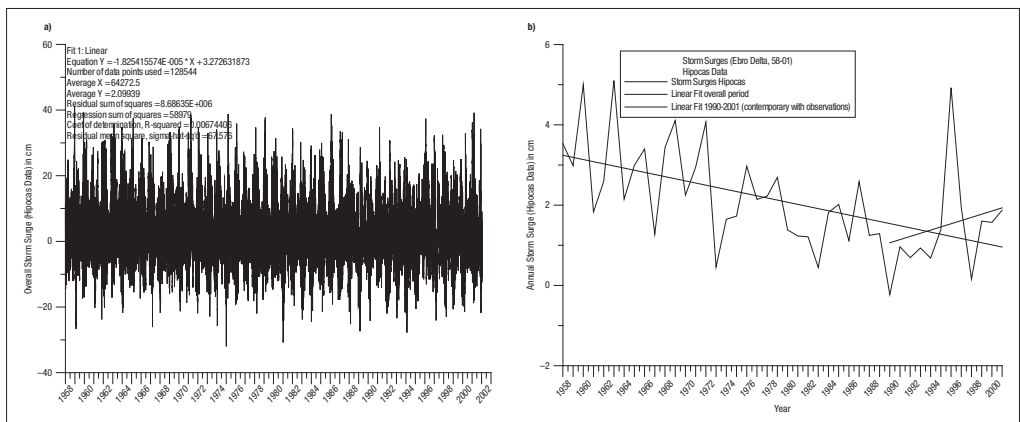


Figura 4. Variacions simulades del nivell del mar causades per la marea meteorològica, que mostren: a) la sèrie temporal numèrica (retroanàlisi del projecte HIPOCAS) i b) el nivell mitjà anual, amb les tendències globals i pels darrers 10 anys. Les dades corresponen al delta de l'Ebre, del 1958 al 2001.

causa, en part, dels efectes d'ombra provocats per la presència de les Illes Balears. Localment, a la zona del delta de l'Ebre, l'onatge del nord-oest (NW) és relativament important, pels vents que es canalitzen a través de la vall de l'Ebre. No obstant això, a la zona propera a la costa es desenvolupen poques tempestes provinents d'aquest sector, a causa del curt *fetch*.

Malgrat els canvis de tendència que després presentarem, si assumim que la freqüència i intensitat de les tempestes no varia a causa del canvi climàtic, el període de retorn de nivells extrems (deguts a marees meteorològiques) es reduirà a causa d'una pujada del nivell mitjà del mar relativa (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008a). Això finalment conduirà a una freqüència més gran d'inundacions a les zones costaneres baixes. Especialment vulnerables a aquest efecte seran les zones deltaiques i les llacunes costaneres, on els efectes combinats de subsidència més una baixa topografia provocaran inundacions, un augment de l'erosió i canvis en la morfologia costanera (figura 5).

La variació en les característiques de l'onatge i les tempestes jugarà un paper crític en determinar l'impacte costaner del canvi climàtic, ja que la configuració de la costa actual està en equilibri dinàmic amb els patrons meteo-oceanogràfics d'avui dia. Ones incidents amb altures mitjanes més grans provocaran corrents longitudinals i de retorn més forts, que donaran com a resultat índexs d'erosió costaners més grans i un transport de sediments més elevat. Una altra contribució a l'erosió de la línia de costa pot resultar de l'augment de la freqüència de tempestes moderades, ja que la costa no tindrà prou temps per recuperar-se entre esdeveniments de tempesta.

Tanmateix, la resposta exacta de la costa a aquestes tempestes depèn, no solament de l'energia de l'esdeveniment, sinó també dels trets particulars de la tempesta (com la duració, el període de les onades, etc. (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008a). La inundació resultant afectarà els valors humans i naturals arreu del món però, sobretot,

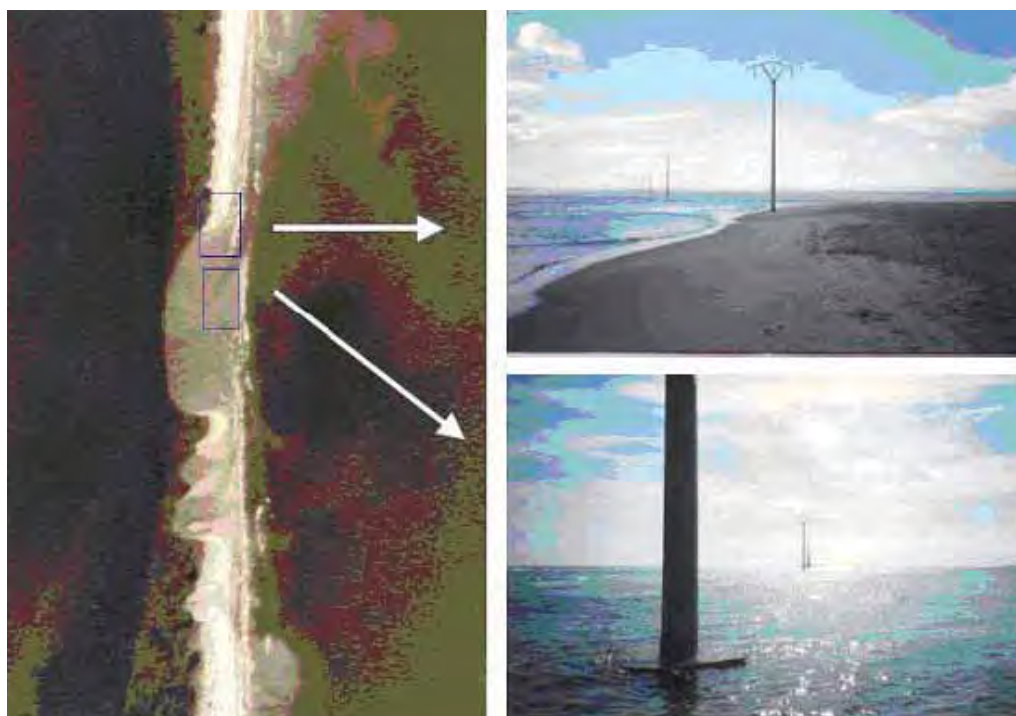


Figura 5. Impacte d'una tempesta a la regió del delta de l'Ebre i en particular a la platja del Trabucador. Part superior: trencament de la barra després de l'impacte de la tempesta de l'octubre del 1990. Part inferior: trencament de la barra després de l'impacte de la tempesta del novembre del 2001.

costes com la mediterrània, amb un nivell energètic moderat (Ismail-Zadeh i Takeuchi, 2007).

En relació amb les dades mesurades, s'ha comprovat que el nombre anual de tempestes d'onatge moderades i severes durant el període d'observació (1990 a 2006) presenta una tendència oposada: una lleugera disminució en el nombre de tempestes severes ($-2/\text{dècada}$), i un lleuger augment ($+2/\text{dècada}$) en el nombre de tempestes moderades (figura 6, adaptada de Möso *et al.*, 2009). La mitjana anual durant el període de mesura és de 27 temporals moderats i vuit tempestes severes.

La duració mitjana de les tempestes moderades a la costa catalana es manté relativament constant, mentre que el valor corresponent per a tempestes severes ha mostrat (Möso *et al.*, 2009) una tendència creixent ($+2 \text{ h/dècada}$) durant el període registrat (figura 7). Per la seva part, el valor mitjà de l'alçada d'ona significant presenta una lleugera tendència a disminuir. Cal remarcar que aquesta tendència és molt moderada en magnitud i no és estadísticament significativa, per la qual cosa es podria assumir que no hi ha ten-

dències detectables en aquesta variable, malgrat que siguin estadísticament poc significatives.

La distribució direccional d'ones incidents mostra una gran variació al llarg de la costa catalana i, en general, del Mediterrani espanyol (figura 8). En el sector del voltant de Barcelona, les ones més energètiques vénen de l'est i corresponen a un *fetch* més llarg, ja que aquesta part de la costa està protegida de components d'onatge del nord. La costa del delta de l'Ebre, situada al sud de la costa catalana, mostra casos freqüents d'ones de l'est al nord-oest. L'est correspon a les mateixes tempestes pel que fa al sector de Barcelona, mentre que les ones de nord-oest (mestral) estan associades a vents provinents d'aquesta direcció que «baixen» per la vall del riu Ebre. En el cas particular de la regió de l'Ebre, les tempestes d'onatge de llevant tendeixen a ocórrer simultàniament amb pujades del nivell del mar degudes al vent i a la baixa pressió (Sánchez-Arcilla i Jiménez, 1994; Jiménez *et al.*, 1997). En aquest cas, els efectes més importants es relacionen amb la inundació de zones agrícoles i l'afectació de valors socioeconòmics a causa de l'exposició a

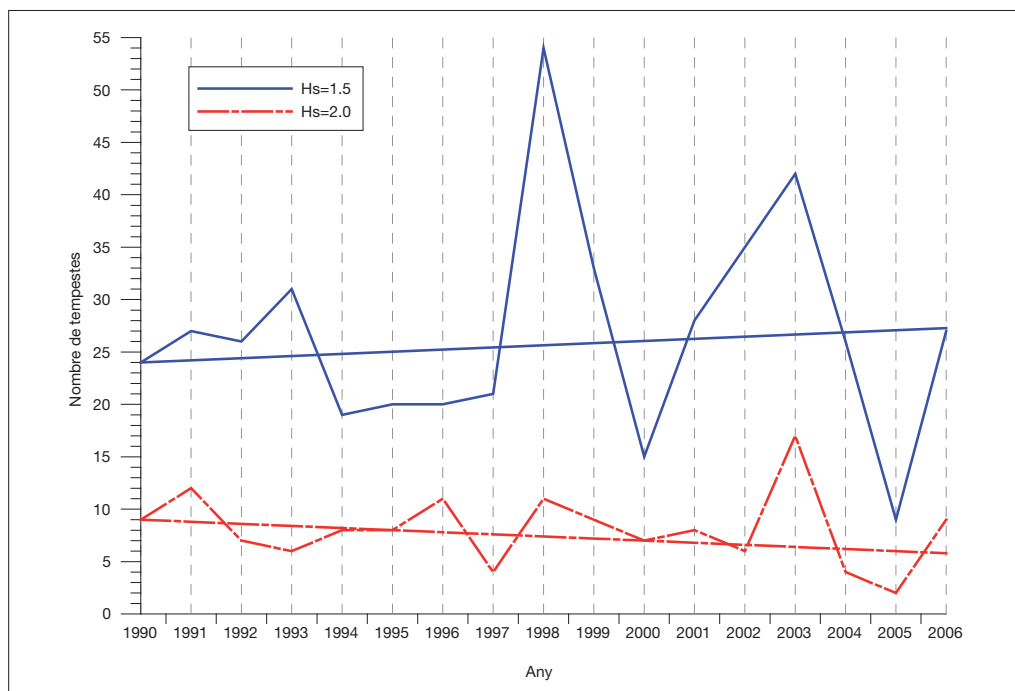


Figura 6. Nombre anual de les tempestes moderades ($H_s > 1,5 \text{ m}$) i severes ($H_s > 2 \text{ m}$) al delta de l'Ebre.

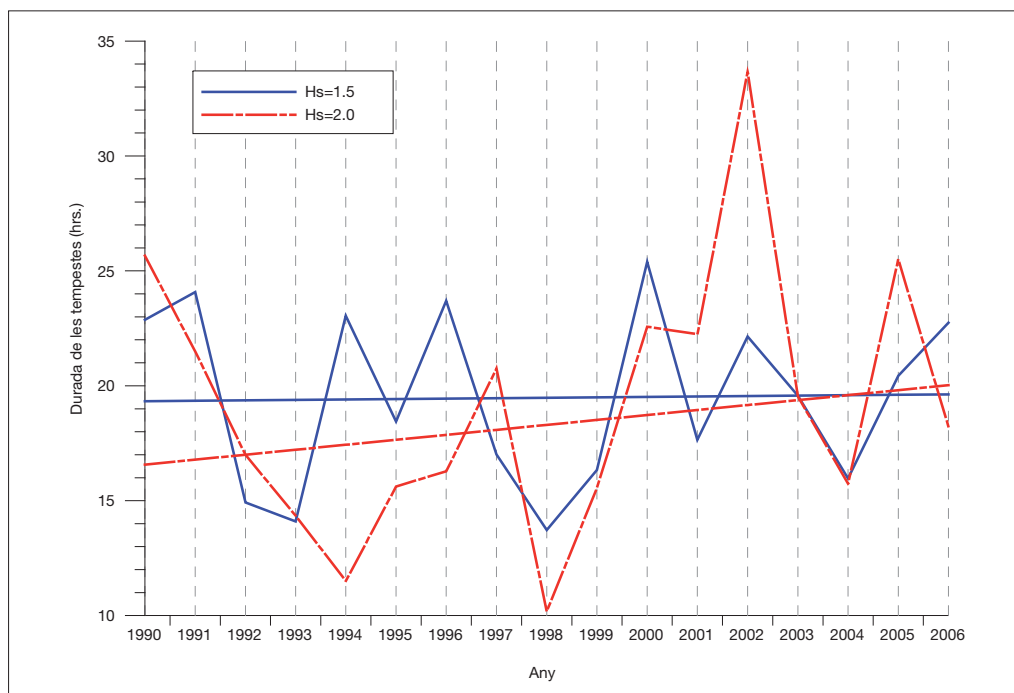


Figura 7. Duració mitjana de les tempestes moderades ($H_s > 1,5$ m) i severes ($H_s > 2$ m) al delta de l'Ebre.

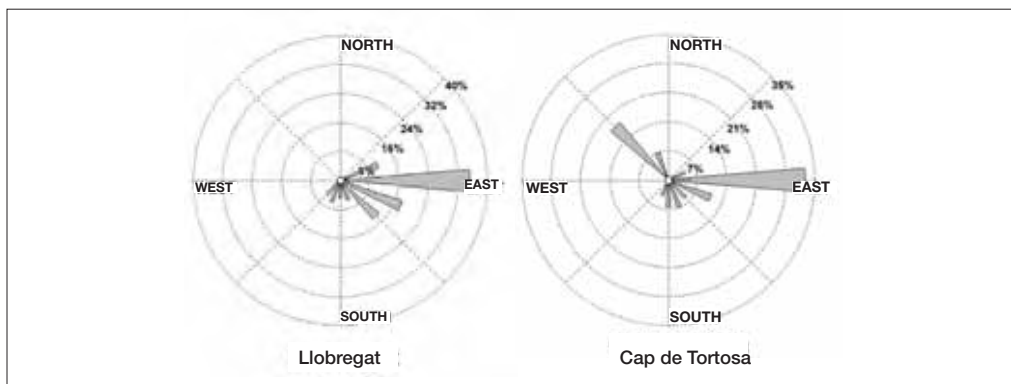


Figura 8. Distribució direccional de l'onatge al llarg de la costa catalana. L'eix radial indica les freqüències d'ocurrència per a la costa del delta del Llobregat a Barcelona i la costa davant del cap de Tortosa al delta de l'Ebre.

Font: Sánchez-Arcilla et al., 2008a.

l'onatge i inundacions. Tots aquests efectes ocasionen una resposta costanera del tipus «impulsiva» (vegeu la figura 5 per a una il·lustració de mostra).

Les dades basades en simulacions d'escenaris futurs (per exemple, Lionello *et al.*, 2008) indiquen que el valor mitjà de l'alçada d'ona signifi-

cant per a gairebé tota la Mediterrània seria menor en el futur (2071-2100) que actualment, per a les estacions més energètiques de l'any; és a dir, l'hivern, la primavera i la tardor. Aquest canvi es manifesta en particular per a l'escenari A2. Només durant l'estiu es produïrien alçades d'ona significativament més grans a les regions entre Grècia i

el nord d'Àfrica, i entre Espanya i Algèria. Aquests canvis són similars als observats sota l'escenari B2, corresponent a baixes emissions, encara que els valors són menors i menys significatius.

A banda de la importància de la magnitud de l'onatge, ja sigui expressat en termes d'alçada d'ona o en energia, s'ha de ressaltar també la rellevància de la direcció que presenta. Cal tenir en compte que, encara que no es projectessin canvis importants en la intensitat de l'onatge, determinades variacions en la direcció predominant tindrien una implicació molt important sobre l'àmbit costaner. Es podrien desencadenar des de problemes d'operativitat i seguretat als ports fins a canvis en la dinàmica del transport longitudinal de sediments, amb afectacions directes a l'amplada de la platja, cosa que podria impedir l'assoliment, en alguns trams, dels requisits mínims per a ús recreatiu o, fins i tot, de protecció.

Per estudiar les possibles variacions en la direcció de l'onatge, s'han utilitzat les dades simulades durant el projecte HIPOCAS. La metodologia emprada per a aquest estudi de l'evolució temporal de l'onatge en situació de tempesta inclou diversos aspectes. Primerament, a partir de l'alçada H s'ha fet una detecció de les tempestes utilitzant el mètode POT (*Peak Over Threshold*) amb un llinar de 2 m, seguint les indicacions addicionals de (Gómez *et al.*, 2005; Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008). Per tal d'incloure la duració de la tempesta, aquestes tempestes s'han caracteritzat pel seu contingut energètic E (Mendoza i Jiménez, 2004) i s'ha procedit a la detecció de tendències del seu valor mitjà i màxim anual, respectivament. S'ha usat el test no paramètric de Mann-Kendall, que està recomanat per van Gelder *et al.* (2008), i, en cas de detectar canvis significatius, la seva quantificació es du a terme a través d'una regressió lineal clàssica. A causa del fet que la variable E és sempre positiva, la regressió per mínims quadrats (que té com a hipòtesi bàsica treballar amb variables normals i, per tant, no estrictament positives) s'ha realitzat a partir del logaritme de E i, posteriorment, s'han pres exponents per tornar a la variable original. Així, doncs, l'evolució temporal de E esdevé exponencial. Un cop dut a terme l'anàlisi de E per a tot el conjunt de dades, s'ha repetit el procediment anterior, agrupant E en funció de la seva direcció. S'han utilitzat 8 sectors direccionals, de

45° cadascun (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW). En aquest cas, cal esmentar que per a determinades direccions i posicions, l'absència de tempestes al llarg d'un any no és menyspreable i, per tant, cal introduir-ne la probabilitat d'ocurrència, que es multiplica per la tendència temporal de E (quan hi ha tempesta). Aquesta probabilitat s'ha aproximat per regressió logística binomial. Per últim, i ja focalitzant només en la direcció de l'onatge, s'ha fet una anàlisi de tendències del percentatge anual de tempestes de cada direcció. Altra vegada, s'ha dut a terme una regressió lineal d'aquests percentatges, amb una transformació prèvia a causa del caràcter composicional que té (Egozcue *et al.*, 2003).

La cerca de tendències per a la totalitat de dades de l'energia mitjana i màxima anual no mostra canvis significatius en el temps, excepte en sis nodes situats a la part de més al nord, en què la tendència és negativa per a la variable màxima (vegeu la figura 9). Això podria fer pensar que, extrapolant aquesta tendència a situacions futures, el clima d'onatge romandrà pràcticament sense canvis. No obstant això, en repetir l'anàlisi discretitzant per a cada direcció, es pot observar que el número de nodes amb tendències significatives, tant negatives com positives, augmenta. L'explicació més raonable és que aquestes tendències es contrarestaven o eren inapreciables en analitzar la totalitat de les direccions conjuntament. Així, doncs, podem destacar el següent pel que fa a l'energia de l'onatge:

- La direcció predominant (E) no mostra tendències significatives. De fet, el resultat de l'anàlisi conjunta es veu molt influenciat per aquesta direcció, ja que, com s'ha comentat anteriorment, està relacionada amb els temporals més energètics.
- Les tempestes provinents del N, en els nodes que hi són presents (nord i sud de Catalunya, vegeu la figura 9) mostren una tendència a la baixa per a la E , sobretot per als valors màxims anuals. Aquest comportament a la baixa també es produeix en alguns nodes al centre de la costa catalana per a la direcció nord-est (NE).
- A la part centre-nord de la costa catalana, existeixen trams en què la tendència associada a la direcció sud és positiva.

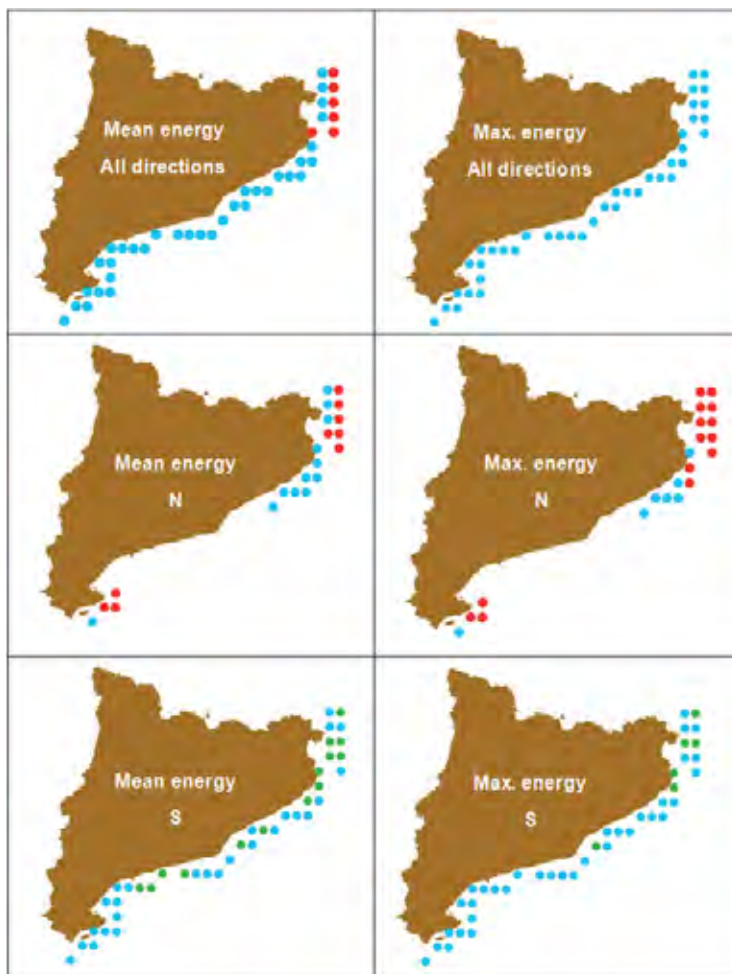


Figura 9. Resultats de la detecció de tendències per a totes les dades i les direccions N i S. Esquerra: energia mitjana anual. Dreta: energia màxima anual. Vermell: tendència negativa. Blau: tendència no significativa. Verd: tendència positiva.

En relació amb el tercer punt, cal dir que l'augment d'energia provinent d'aquest sector provoca un increment del percentatge d'aquest tipus de tempesta, que en les últimes dècades ha esdevingut un fenomen més usual comparat amb els primers anys de la sèrie de dades. Com es pot veure a l'exemple de la figura 10, la tendència de l'energia del sector S clarament augmenta amb un ritme de mitjana de creixement que fa que se'n dupliqui el valor entre la primera i l'última dècada de la sèrie temporal.

D'altra banda, quant a l'anàlisi dels percentatges per a cada direcció, s'obtenen resultats

consistents amb els de contingut energètic. En altres paraules, en general, les direccions amb una tendència energètica a la baixa/alça presenten un comportament anàleg pel que fa al seu percentatge d'ocurrència. Per exemple, com s'ha comentat anteriorment, l'augment energètic de la direcció S fa que la probabilitat d'ultrapassar el llindar de tempesta sigui més elevada. La figura 11 mostra dos exemples en què s'observa aquest increment, comparant dues projeccions per als anys 2010 i 2050. Es passa del 6% al 14% i del 25% al 60%, respectivament, per als nodes 2 i 31; és a dir, amb un augment de més

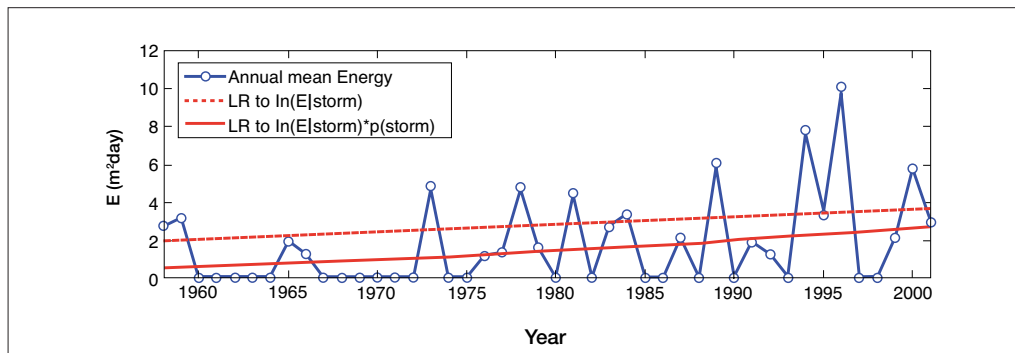


Figura 10. Quantificació de la tendència de l'energia de tempestes provinents del S en el node 31.

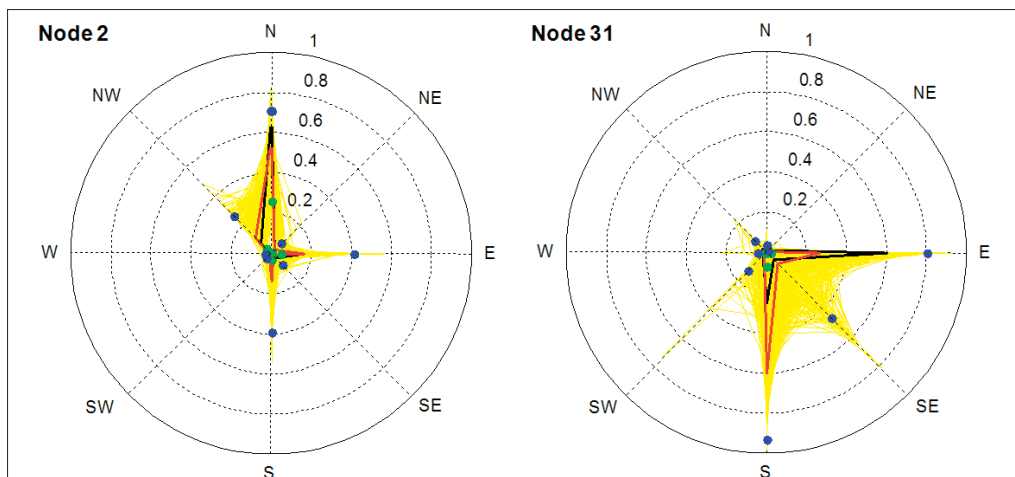


Figura 11. Comparació de l'any 2010 (situació actual) i les projeccions per a l'any 2050. Negre: 2010. Vermell: 2050. Groc: mostres obtingudes amb bootstrapping per a l'any 2050. Punts verds i blaus: intervals marginals de confiança del 95 %.

del 100%. Addicionalment, per al node situat més al nord (node 2), el percentatge de tempestes del N tendeix a disminuir. Pel que fa al node 31, el percentatge de tempestes provinents de l'E decau, tot i que, com ja s'ha vist amb anterioritat, el contingut energètic d'aquest node no mostra una tendència significativa.

Un altre resultat a destacar, a banda de les tendències mitjanes obtingudes, és l'elevat grau d'incertesa: com s'observa a la figura 12, els intervals de confiança del 95% abasten un ventall de valors molt ampli, especialment a mesura que es projecta un horitzó més llunyà. Això es deu a tot un seguit de raons. La sèrie de dades presenta una elevada variabilitat interanual, la

qual cosa fa difícil discernir entre canvis interanuals-decadals o tendències a llarg termini per efecte del canvi climàtic. D'altra banda, en realitzar un estudi de clima extremal, i posteriorment fer una discretització en funció de la direcció, es redueix el nombre de dades i, per tant, la certesa disminueix. De fet, si es porta a terme la mateixa anàlisi de tendències de les freqüències pel clima mitjà (tot el conjunt de dades), s'observa una reducció de la incertesa a través d'un estretament dels intervals de confiança. Òbviament, l'aplicabilitat d'aquests resultats no és la mateixa que en el cas del clima extremal. Val a dir que per al clima mitjà també s'observa un augment generalitzat de la com-

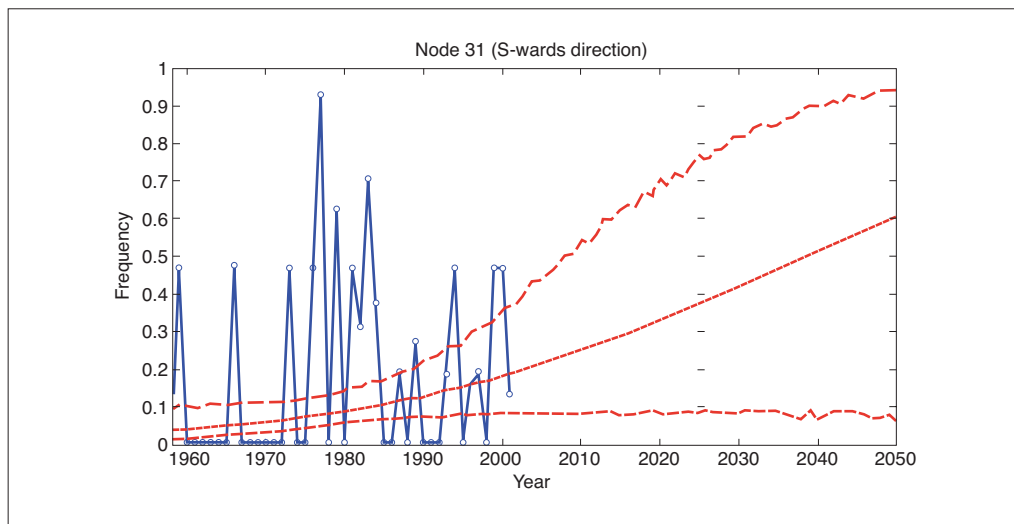


Figura 12. Evolució temporal de la freqüència anual de les tempestes del sector S. Extrapolació a l'any 2050. Es mostren els intervals de confiança del 95 %.

ponent S, en detriment de la N-NE. Per últim, existeix la incertesa associada al model temporal escollit (en aquest cas, una regressió lineal). Aquesta part és de les més difícils de quantificar i, de fet, no està inclosa en els intervals de confiança calculats, que es basen en les hipòtesis del model utilitzat. Tanmateix, a falta de raons físiques determinants que indiquin un tipus de comportament en particular, segons el principi de parsimònia, és recomanable recórrer als models més simples compatibles amb els nostres objectius. En conclusió, tot i detectar alguns canvis significatius en la component energètica de l'onatge i en la seva direcció, aquests s'han de prendre amb cautela, ja que tenen probabilitats d'ocórrer, però també una elevada incertesa associada.

Temperatura a la superfície del mar (SST)

Els oceans tenen una gran capacitat per emmagatzemar i redistribuir escalfor. A causa d'això, es retarden possibles augments de temperatura globals, a la vegada que es provoca un augment d'aigua evaporada i, així, de precipitació. L'increment de les temperatures arreu dels oceans mostra una tendència coherent amb l'augment observat en temperatures de l'aire (Levitus *et al.*, 2000). La Mediterrània occidental i l'Atlàntic

nord reaccionen de manera similar a la resta d'oceans. Durant els anys noranta, aquests mars es van escalfar aproximadament uns 0,5 °C. (Rixen *et al.*, 2005; Vargas-Yañez *et al.*, 2009). Més específicament, la mitjana anual, juntament amb els valors màxims i mínims de l'SST, mostren una tendència creixent clara (figura 13). Tanmateix, la variabilitat interanual és tan pronunciada que emmascara tendències de període més llarg (figura 13b). La tendència creixent de la SST està connectada amb un comportament similar a la temperatura de l'aire. Això significa que, encara que no es disposa de prou registres instrumentals per confirmar-ho, hi hauria d'haver un augment generalitzat a totes les estacions costaneres.

Entre els esdeveniments naturals extrems que han tingut lloc a la Terra en els darrers temps, alguns dels més violents estan estretament relacionats amb aquest increment de la temperatura a la superfície del mar (SST). Diversos estudis suggereixen que l'escalfament global ocasionarà probablement un augment de l'SST, que incrementarà la intensitat de les tempestes extremes (Sun *et al.*, 2007) i el nivells mitjans del mar. Això també afectarà les nostres costes amb unes tempestes de genètica diferent i per a les quals no es disposen d'estadístiques.

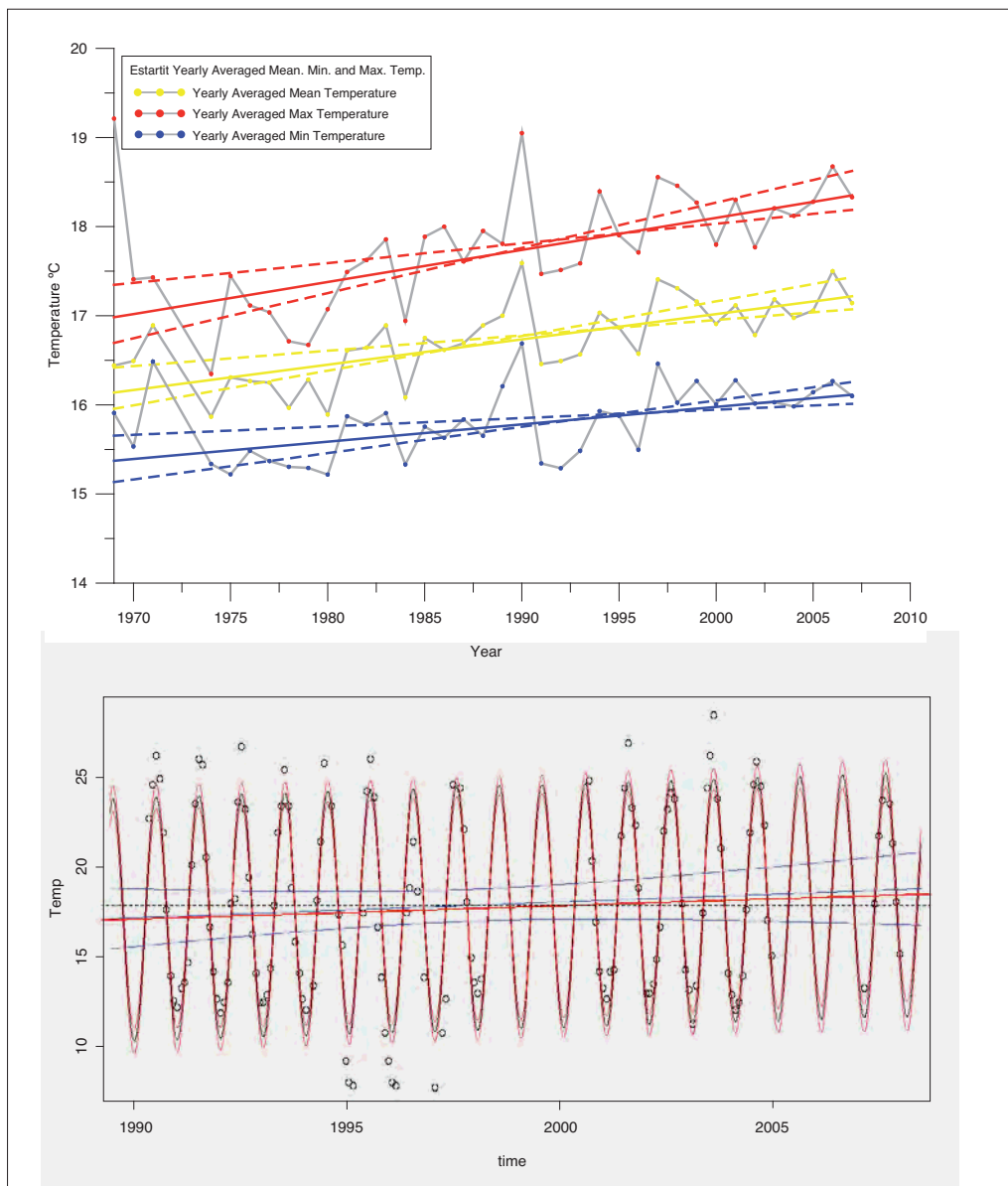


Figura 13. Valors mitjans (groc), màxims (vermell) i mínims (blau) de les temperatures de la superfície del mar (SST) al nord de la costa catalana (l'Estartit) per al període 1969-2008 (a l'esquerra) i valors mensuals davant del delta de l'Ebre per al període 1990-2008 (a la dreta).

Font: SMC (Servei Meteorològic de Catalunya).

La temperatura del mar controla els canvis en l'atmosfera oceànica i està relacionada amb l'evaporació i els índexs de precipitació. Això porta associada la inundació de la costa causada per l'escorrentia continental. La temperatura de l'aigua tam-

bé controla la solubilitat de certes substàncies —entre les quals hi ha l'oxigen dissolt— i la productivitat primària (Manasrah *et al.*, 2006; Markfrot i Hondzo, 2009). El resultat és un factor que afecta la qualitat de l'aigua, tal com es descriu més endavant.

Riscos físics. Erosió

En estimar l'erosió deguda a la pujada relativa del nivell del mar, sense considerar reduccions addicionals en el subministrament sedimentari dels rius respecte de la situació actual (a causa del fet que els efectes que té la regulació dels rius són més intensos que no pas els de la variabilitat climàtica), s'obtenen les taxes d'erosió que es mostren a la taula 1. En aquesta taula, el passat recent correspon al segle passat, mentre que les estimacions actuals s'han obtingut assumint 1 mm d'elevació del nivell del mar per any de mitjana. Les taxes del «futur proper» corresponen a l'interval 2050-2100 i s'han obtingut (a partir dels informes de l'IPCC) suposant un increment del nivell del mar cap a l'any 2100 de 50 cm. Les xifres mostrades a l'esmentada taula 1 corresponen a una estimació mitjana, assumint una resposta «sòlida» de la línia de vora a l'elevació del nivell del mar, basada en una versió simplificada de la regla de Bruun. No obstant això, s'ha d'indicar explícitament que la resposta real variarà de platja a platja, depenent de les característiques del sediment i del perfil, així com de la disponibilitat d'espai per poder donar lloc a tota l'erosió estimada. A causa d'això, els nombres, expressats en metres horitzontals d'erosió, haurien de ser considerats estimacions grolleres per il·lustrar l'ordre de magnitud de l'erosió potencial a les costes catalanes, associada només a l'elevació del nivell del mar.

L'erosió del perfil de platja associada a tempestes d'onatge depèn de la intensitat i de la duració (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008b). Pel que fa a les tempestes, sembla haver-hi un lleuger incre-

ment del nombre de tempestes moderades durant la tardor. No obstant això, el nombre de temporals més energètics sembla que està disminuint, mentre que hi ha un augment en la duració de les tempestes (basat en la sèrie limitada de dades de la boia del cap de Tortosa). Assumint un increment de duració de dues hores per dècada (figura 7), es pot estimar el corresponent increment en el volum erosionat en aproximadament 2 m³/m (per a les dues hores de duració addicional) basant-se en la referència prèvia. Això dona com a resultat un increment de l'erosió de 2 m per dècada, utilitzant una alçada de berma d'entre 1 i 2 m (ja que s'està incloent també part del perfil de platja submergida per calcular el balanç de sediments). Això provocaria una erosió addicional de 20 m cap al 2100 a la costa catalana.

Afegint aquesta erosió (addicional) deguda a les tempestes d'onatge a les xifres prèviament calculades per a l'elevació relativa del nivell del mar, s'obtenen les estimacions que es presenten a la taula 2, que correspon a l'erosió horitzontal esperada cap al 2100.

L'erosió combinada per a l'any 2100 és, per tant, d'uns 100 m per a zones més vulnerables com el delta de l'Ebre (on s'ha considerat també l'efecte de la subsidència). Per a zones sense subsidència, aquesta erosió es podria estimar en uns 70 m. Aquestes xifres corresponen a l'augment d'erosió (respecte de l'actual) associada a una acceleració en el canvi de clima. Els resultats obtinguts il·lustren l'alta vulnerabilitat de moltes de les platges localitzades en la costa catalana, ja que en molts casos, les amplades d'aquestes platges oscil·len entre 50 i 100 m.

	Passat recent	Present	Futur proper
Delta de l'Ebre	25	35	75

Taula 1. Ordre de magnitud de l'erosió en metres horitzontals de retirada de la línia de vora deguda a l'elevació del nivell del mar per al segle passat (passat recent), les condicions actuals (present) i cap a l'any 2100 (futur proper). Aquestes projeccions van associades a un nivell d'incertesa considerable.

	Passat recent	Present	Futur proper
Delta de l'Ebre	25	35	95

Taula 2. Ordre de magnitud de l'erosió en metres horitzontals de retirada de la línia de vora deguda a l'elevació del nivell del mar i als efectes de les tempestes per al segle passat (passat recent), les condicions actuals (present) i cap a l'any 2100 (futur proper). Aquestes projeccions van associades a un nivell d'incertesa considerable.

Riscos bioquímics. Qualitat de l'aigua costanera

La temperatura de l'aigua regula el funcionament dels ecosistemes; directament, a través d'efectes fisiològics als organismes; i indirectament, com a conseqüència de la pèrdua d'hàbitat. La fotosíntesi i la respiració aeròbica, el creixement, la reproducció, el metabolisme i la mobilitat d'organismes, tots aquests processos es veuen afectats per canvis a la temperatura de l'aigua. En efecte, els índexs de reaccions bioquímiques normalment es doblen quan la temperatura s'augmenta 10 °C dins de l'interval de tolerància d'un organisme, i això també es aplicable als processos microbians com ara la fixació de nitrogen, la nitrificació i la desnitrificació (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2010).

Els organismes aquàtics només poden sobreviure dins d'un rang de temperatura determinada. Si la temperatura hi està molt allunyada per sobre o per sota (les anomalies de temperatura positives o negatives de només uns quants graus poden provocar mortalitat) de la tolerància fixada per cada espècie (per exemple peixos, insectes, invertebrats bènctics, zooplàncton, fitoplàncton i microbis), la seva capacitat per sobreviure es pot veure afectada. Els canvis a la temperatura de l'aigua afecten indirectament la biota a través de la pèrdua d'hàbitat per la variació de la solubilitat d'oxigen i de carbonat càlcic (calcita o aragonita) a l'aigua, o influent en la contaminació per metalls i altres tòxics que són assimilats per processos fisiològics. La temperatura de l'aigua és també probablement el factor més important (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2010) que influeix en la persistència vírica en zones estuàriques, ja que afecta la densitat, la conductivitat i el pH de la columna d'aigua.

A més a més, la solubilitat dels gasos (l'oxigen dissolt i el diòxid de carboni) disminueix quan la temperatura augmenta (la solubilitat és la màxima quantitat de gas que es pot dissoldre en un volum donat d'aigua). És més probable que l'aigua es torni anòxica o hipòxica en condicions càlides, a causa de l'augment de la respiració bacteriana i del fet que té menys capacitat de dissoldre oxigen.

S'intentarà ara relacionar la qualitat de l'aigua costanera amb la dinàmica del clima en termes

de precipitació i d'oxigen dissolt en la columna d'aigua. La precipitació afecta la qualitat de l'aigua, en el sentit que determina la concentració de contaminants provinents dels cabals del riu o l'escorrentia continental distribuïda. Si se suposa que la concentració és inversament proporcional al volum descarregat i, per això, per a una àrea de drenatge constant, inversament proporcional a l'índex de precipitació, aquest fet indica que la qualitat de l'aigua ha de ser directament proporcional a l'índex de precipitació (suposant que la quantitat de contaminants romandrà constant). Intuïtivament, això simplement significa que els índexs de precipitació més alts produeixen una dilució més alta i, així, milloren la qualitat de l'aigua. Però aquesta és una forta simplificació de la realitat, ja que les pluges «impulsives» (com a mínim les primeres d'una sèrie) haurien de «netejar» el sistema de drenatge i, així, donar una concentració més alta de contaminants. Tanmateix, l'impuls extra dels cabals torrencials afavoreix la dispersió de la ploma del riu i, així, redueix la càrrega de contaminació local. Considerant tots aquests factors, s'ha optat per una anàlisi robusta per aconseguir alguns ordres de magnitud, que es presenten a continuació.

Les simulacions climàtiques, encara que menys robustes per a precipitació que per a variables com la temperatura, pronostiquen una reducció de la precipitació d'aproximadament un 5% pel nord de la costa mediterrània (estimades a partir de Christensen *et al.*, 2007). Això correspon a la situació A1B de l'IPCC, on el ràpid creixement econòmic va acompanyat de tecnologies més eficients.

Basat en aquests números i en el treball realitzat dins del projecte europeu CIRCE, es pot assumir que, amb les condicions actuals, la precipitació en el cas espanyol s'ha mantingut raonablement estable. Els canvis associats a la qualitat de l'aigua (expressada en percentatges) apareixen a la taula 3. Es tracta de valors mitjans per a la zona nord de la costa mediterrània espanyola, tant per la resolució de la projecció climàtica com per l'aproximació de la resposta costanera. Malgrat això, aquestes xifres són típiques de trams de costa amb rius i rieres poc regulats, com ara al Maresme. Per tant, aquestes

	Present	Futur proper		
		Mitjana anual	Estiu	Hivern
Costa Mediterrània	0%	-5%	-30%	0%

Taula 3. Ordre de magnitud de les variacions percentuals de la qualitat de l'aigua a causa de canvis en les precipitacions per a la costa catalana. Les condicions actuals estan indicades com a present», mentre que l'estimació per a l'any 2100 apareix com a «futur proper».

valors s'haurien de considerar representatius només de la tendència, ja que constitueixen un esbós aproximat de la variació de la qualitat de l'aigua a causa dels canvis regionals en la precipitació. Pel que fa a la qualitat de l'aigua, associada a precipitacions més torrencials concentrades en el temps, també haurien d'augmentar la quantitat de contaminants descarregats fins al mar costaner. Aquest efecte és gairebé impossible d'avaluar amb el nivell actual d'informació i, per això, no s'ha inclòs en l'anàlisi.

Les variacions obtingudes en la qualitat de l'aigua corresponen als canvis previstos a la temperatures de l'aire i de l'aigua a la Mediterrània, que són més alts que a la mitjana mundial (Somot *et al.*, 2006). Aquests números s'han obtingut a partir de l'escenari A2, amb emissions altes. Per aquest motiu, les zones més vulnerables a aquest augment de temperatura serien aquelles que presenten actualment unes temperatures més altes, com ara la zona del sud de Tarragona (tret de l'àrea localment afectada per les descàrregues del riu Ebre). Per contra, la zona de Girona i nord de Barcelona, sotmeses als corrents generats pels vents que bufen entre els Pirineus i els Alps, estarien més lluny d'aquests llimars de temperatura i serien, per això, menys vulnerables a aquest efecte.

Això també s'aplica regionalment a les alçades d'ona, els valors més grans de les quals enregistrats a la costa catalana han estat a la Costa Brava —prop de la frontera amb França— el desembre del 2008. Per això, aquest agreujament dels impactes a la zona costanera és una qüestió de quan ocorrerà, més que de si realment tindrà lloc.

9.4. Discussió

En aquest treball s'han considerat les implicacions del canvi climàtic a la costa catalana. Per la

importància dels esdeveniments extrems (tempestes) en termes morfològics, l'impacte dels termes impulsors climàtics s'hauria de considerar, sempre que ho permetin les dades, en termes de tendència mitjana i de variància. Tanmateix, per ser coherents amb l'escassetat de dades disponibles, moltes vegades només es pot realitzar aquesta avaluació per a la tendència mitjana.

Fins i tot amb aquesta aproximació simplificada, hi ha un gran nombre d'incerteses. Aquestes es poden classificar en set grans blocs, dels quals els primers quatre són les fonts normalment acceptades d'incertesa en treballs climàtics (Somot *et al.*, 2006, 2008; Terray i Braconnot, 2007), tal com es resumeix a continuació:

- Taxa d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, que es relaciona amb el comportament socioeconòmic i els desenvolupaments tecnològics.
- Precisió i resolució dels models numèrics, pel que fa a les equacions i parametritzacions emprades.
- Reducció d'escala (*downscaling* físic o estadístic) i condicions de contorn emprades.
- Límits inherents de la predicció que són dependents del grau d'interaccions considerades.

És també important incloure tres fonts addicionals d'incertesa que es poden convertir, fins i tot, en dominants per a l'avaluació dels riscos costaners. Aquestes fonts addicionals són:

- La funció de resposta, que connecta els termes impulsors climàtics amb la «propietat» desitjada del sistema costaner, i que normalment es coneix poc. Per exemple, els càlculs de transport de sediments poden presentar errors de fins a un 100% (com ara a Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008b).

- El llindar necessari per calcular vulnerabilitat (com ara fallides del sistema costaner), que és també un interrogant obert per a moltes aplicacions pràctiques relacionades amb erosió, inundacions o qualitat de l'aigua.
- Les funcions de distribució de probabilitat dels termes impulsors i respostes costaneres, que són rarament conegudes, i introduïdes mitjançant una mitjana aritmètica, o, com a màxim, una desviació estàndard. Això presenta problemes, especialment als extrems, ja que les cues de les distribucions són sensibles a totes les hipòtesis prèvies. Passa el mateix si es volen fer servir distribucions amb més d'una variable.

Pel que fa a les conclusions específiques de les variables analitzades, el nivell mitjà del mar al port de Barcelona ha mostrat oscil·lacions que no sempre coincideixen amb les d'altres ports del Mediterrani. Així, els anys 1992, 1993, 1998, 2004 i 2006 el nivell mitjà del mar a Barcelona i València (Möso *et al.*, 2009) va mostrar una tendència oposada. La resta del temps el nivell mitjà hi va estar en fase, amb un coeficient de correlació de 0,54. Quant a les dades simulades, el coeficient de correlació entre les sèries d'ambdós punts és molt baix (0,13). Això il·lustra la influència de la meteorologia local en les variacions de nivell mitjà entre aquests dos ports relativament propers.

Tant la tendència mitjana de les dades simulades com de les mesures indica un sentit decreixent. No obstant això, el darrer període, que comença el 1992, mostra un nou cicle de nivell mitjà del mar ascendent. Aquesta tendència a l'alça també ha estat descrita per altres autors (Gomis *et al.*, 2008; Tsimplis *et al.*, 2008), la qual cosa indica (amb les precaucions corresponents degudes a la baixa resolució i sèries limitades) que el nivell mitjà del mar al Mediterrani durant el període 1960-1992 estava decreixent entre 0,4 i 0,6 mm/any, mentre que la tendència actual és d'augment.

Pel que fa a l'alçada d'ona, la màxima i la significativament corresponents a la boia de cap de Tortosa al delta de l'Ebre no presenten variacions importants durant el període 1990-2006. Els valors més grans de l'alçada d'ona màxima mostren

una evolució decreixent amb el temps, mentre que la tendència corresponent per a l'alçada d'ona significant és d'augment. No obstant això, els valors màxims per any de totes dues variables són comparables, amb un coeficient de correlació al voltant de 0,99. El nombre de tempestes d'onatge observades també mostra variacions durant aquest període. Segons el criteri per definir què és una tempesta, el resultat varia de manera important, i només es manté una certa constància en el nombre de successos.

Les tempestes definides per un llindar d'alçada d'ona significant de 2 m presenten una tendència a baixar de freqüència, i per tant la desviació estàndard dels paràmetres de la tempesta és més alta. La duració mitjana dels dos tipus proposats de tempesta (definides amb l·lindars de $H_s \geq 2$ m i 1,5 m) mostra variacions, però si s'agafa tota la sèrie, els valors mitjans són semblants. La duració mitjana de les tempestes definides amb 2 m de llindar va arribar fins a més de 30 hores. La duració mínima va ser de 10 hores.

Les àrees més vulnerables davant un canvi a les condicions climatològiques són les platges més estretes i les zones costaneres baixes, segons es va identificar ja al primer informe (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2005b). Les platges amb una amplada limitada, normalment les platges urbanes, no presenten gaire capacitat per dissipar l'energia dels factors que modelen la costa, molt especialment l'onatge i els corrents associats al seu trencament. Aquesta manca de sorra i «espai» provoca una dissipació (zona de trencants) més abrupta i més gradients (en alçada d'ona, corrent longitudinal i de ressaca) que afavoriran l'erosió i inundació d'aquestes platges. D'altra banda, les zones costaneres més baixes, particularment aquelles que experimenten subsidència, estan més exposades a l'efecte d'un augment (eustàtic o per tempestes) del nivell relatiu terra-mar. Això provoca una vulnerabilitat més alta per a aquestes platges, il·lustrades pels deltes del Ter, el Llobregat i l'Ebre i zones baixes com els aiguamolls (per exemple, de l'Empordà).

També cal assenyalar la vulnerabilitat de trams costaners amb abundància d'estructures rígides, com ara els espigons o els dics exempts.

El comportament d'aquestes estructures variarà amb el nivell del mar i amb característiques de tempestes diferents. Això s'aplica particularment als dics paral·lels a la costa, com ara els de la Barceloneta i d'altres platges, ja que són estructures molt sensibles al nivell mitjà del mar.

Totes aquestes conclusions corresponen a un període de temps prou curt per caracteritzar de manera «robusta» la variabilitat climàtica de l'onatge i altres paràmetres «marins» en una costa tant irregular en termes meteo-oceanogràfics com la catalana. Aquests resultats també mostren la importància de mantenir l'esforç de mesura per tal de poder transmetre, en les properes dècades, sèries de dades prou llargues i representatives. Només així es poden fer prediccions climàtiques amb un nivell d'incertesa ben acotat.

A causa d'aquesta manca de sèries llargues, s'ha de recórrer a altres tipus de dades, com les simulades a partir de condicions meteorològiques (projecte HIPOCAS). L'anàlisi d'aquestes dades mostra que el contingut energètic global al llarg de la costa catalana projectat per a l'any 2050 no mostra tendències significatives, per la qual cosa es pot afirmar que no es preveu que aquest contingut d'energia experimenti grans modificacions. No obstant això, si l'anàlisi es fa per direccions, s'aprecia una disminució del contingut energètic dels onatges del N (particularment al nord i al sud de la costa catalana) i un increment del contingut energètic de les tempestes del sud (especialment al nord i al centre de la costa catalana).

L'anàlisi dels percentatges de tempestes de cada direcció és consistent amb el contingut energètic, ja que, en alguns punts, el percentatge de tempestes del nord tendeix a disminuir clarament, mentre que el percentatge de tempestes del sud pot arribar a duplicar-se en algunes zones, sempre recordant el grau d'incertesa associat a aquestes projeccions.

En qualsevol cas, un canvi significatiu en la direcció de les tempestes d'onatge podria tenir conseqüències rellevants sobre el transport de sediments i, per tant, en l'equilibri de les platges. A més a més, un potencial canvi en les direccions alteraria els patrons d'agitació a l'interior dels ports, afectant-ne eventualment l'operativitat.

9.5. Conclusions

De l'anàlisi presentada es conclou que els indicadors climàtics més directes i robustos per a l'estat de les zones costeres són el nivell mitjà del mar i les tempestes d'onatge per a l'erosió, d'una banda, i les inundacions i la temperatura de l'aigua per a la qualitat de l'aigua, de l'altra. L'erosió es relaciona amb el nivell relatiu entre terra i mar, l'energia de les tempestes i altres factors de la tempesta, com ara la duració, el peralt de l'ona (la relació entre l'alçada i la longitud de l'ona), l'orientació de l'ona respecte de la costa i la repetició d'esdeveniments energètics (per exemple, la freqüència d'ocurrència). La qualitat de l'aigua, d'altra banda, es relaciona amb la temperatura de l'aigua i característiques de la precipitació com ara el volum o la duració, i amb la repetició o freqüència d'ocurrència.

Per bé que el nivell d'informació instrumental disponible i els errors en els camps simulats impedeixen elaborar unes conclusions definitives, hi ha un cert nombre de coincidències i diferències per observar. S'ha detectat una tendència lleugerament creixent en els darrers anys del nombre de tempestes d'onatge més sever. Això podria confirmar la incipient evidència cap a un nombre més alt d'esdeveniments impulsius (tempestes d'onatge, precipitació, etc.). L'impacte que en resulta, per a la costa catalana, subjecte a tempestes de més d'una direcció, seria un augment de l'erosió i les inundacions sobre una costa ja vulnerable en les condicions actuals.

També, i encara que amb un grau més alt d'incertesa, ja que està basat en dades simulades, hi ha indicis de canvi en les direccions de l'onatge. Això, si es confirmés, a més d'afectar l'agitació en l'interior dels ports, suposaria una modificació de la planta de les platges catalanes. Aquesta modificació seria deguda al fet que també canviarien els patrons de transport longitudinal, que és proporcional a $\sin 2$, essent l'angle entre crestes de l'onatge i l'orientació mitjana de la costa. També canviaria el transport net, sobretot a les zones nord i sud de Catalunya, que podrien veure una disminució de les tempestes amb component nord. Per contra, tant a la part central com a la part nord, augmentarien els temporals de component sud. Això implicaria una disminució del transport longitudinal net, dirigit de nord a sud,

amb implicació per a la forma en planta de les platges, els dragatges del ports i les operacions d'alimentació artificial.

L'augment del nivell relatiu mar-terra suposaria un increment de l'erosió, particularment per a les zones baixes amb subsidència, com ara els deltes i aiguamolls. La resposta erosiva de la costa també canviaria, a causa del desplaçament cap al nord de les trajectòries de les tempestes. Això suposaria una disminució de l'alçada d'ona, però amb un canvi en la direcció d'apropament dels trens d'onades. Tot plegat suposaria un canvi de la configuració costanera d'equilibri, amb conseqüències potencialment serioses, sobretot per a les zones amb més estructures rígides (passejos, edificis, etc.)

En els trams costaners més antropitzats (aquesta conclusió s'aplica per tant, a les platges de Barcelona ciutat, trams del Maresme i la Costa Daurada i, en general, al comportament de la vora costanera «afectada» per estructures rígides) la interacció de la dinàmica climàtica amb les estructures «humanes» també es manifestarà a través de la regulació fluvial. La concentració de pluges en el temps i la disminució del volum mitjà de precipitació suposaria una regulació fluvial diferent, i probablement una disminució de l'aportació sòlida dels rius a la costa. Aquesta nova reducció sedimentària faria encara més vulnerable el sistema costaner davant de possibles variacions de la climatologia a escala regional.

Per altra banda, la temperatura de la superfície del mar sembla que està augmentant, amb una tendència clara a l'alça de la mitjana anual. Això hauria de portar a uns nivells d'oxigen dissolt inferiors que, juntament amb la disminució de la precipitació mitjana i una concentració de més esdeveniments torrencials, ocasionaria una degradació creixent de la qualitat de les aigües costaneres.

Els impactes associats de tot plegat seran multisectorials i a diverses escales. Alguns exigiran un consum d'energia i aigua més alt i, indirectament, agreujaran el possible canvi climàtic. Això il·lustra la importància d'actuar de manera anticipada, invocant en cas de dubte el principi de precaució, de manera que es pugui conservar un ambient tan valuós com la costa mediterrània.

Referències

- BATES, B.C.; KUNDZWWICZ, Z.W.; WU, S.; PALUTIKOV, J.P. (eds.) (2008). *Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Geneva: IPCC Secretariat, p. 210.
- BOLAÑOS, R.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; GÓMEZ, J.; CATEURA, J. (2004). «Limits of operational prediction in the north-western Mediterranean». *Proc. 29th International Conference on Coastal Engineering*; Lisboa, Portugal, p. 818-829.
- CALAFAT, F.M.; GOMIS, D. (2009). «Reconstruction of Mediterranean sea level fields for the period 1945-2000». *Global and Planetary Change*, 66, p. 225-234.
- CAVALIERI, L.; BERTOTTI, L. (2004). «Accuracy of the modelled wind and wave fields in enclosed seas». *Tellus*, 56a, p. 167-175.
- CHANGNON, S.D. (2003). «Measures of economic impacts of weather extremes». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, p. 1231-1235.
- CHEN, C.C.; MCCARL, B.A.; SCHIMMELPFENNING, D.E. (2004). «Yield variability as influenced by climate: a statistical investigation». *Climatic Change*, 66, p. 239-261.
- CHRISTENSEN, J.H.; HEWITSON, B.; BUSUIOC, A. [et al.] (2007). «Regional Climate Projections». A: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. [et al.] (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge-New York: Cambridge University Press.
- COOPER, M.J.P.; BEEVERS, M.D.; OPPENHEIMER, M. (2008). «The potential impact of sea level rise on the coastal region of New Jersey, USA». *Climatic Change*, 90, p. 475-492.
- EGOZCUE, J.J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V.; MATEU-FIGUERAS, G.; BARCELÓ-VIDAL, C. (2003). «Isometric logratio transformations for compositional data analysis». *Mathematical Geology*, 35, p. 279-300.
- GARCIA, M.A.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; SIERRA, J.P. [et al.] (1993). «Wind waves off the Ebro Delta, NW Mediterranean». *Journal of Marine Systems*, 4, p. 235-262.
- GÓMEZ, J.; ESPINO, M.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A. [et al.] (2005). «Extreme wave conditions in a torrencial climate. The Catalan case». *WAVES 2005. Book of Abstracts*, Ed. CEDEX, 32.
- GOMIS, D.; RUIZ, S.; SOTILLO, M.G. [et al.] (2008). «Low frequency Mediterranean sea level variability: the contribution of atmospheric pressure and wind». *Global and Planetary Change*, 63, 215-229.

- GOUBANOVA, K.; LI, L. (2007). «Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations». *Global and Planetary Change*, 57, p. 27-42.
- GUEDES SOARES, C.; CARRETERO ALBIACH, J.C.; WEISSE, R.; ALVAREZ-FANJUL, E. (2002). «A 40 years hind-cast of wind, sea level and waves in European waters». *Proceedings of the 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Oslo, Norway, p. 7.
- HAMILTON, J.M.; TOL, R.S.J. (2007). «The impact of climate change on tourism in Germany, the UK and Ireland: a simulation study». *Regional Environmental Change*, 7, p. 161-172.
- HILL, J.; STELLMES, M.; UDELHOVEN, T. [et al.] (2008). «Mediterranean desertification and land degradation. Mapping related land use change syndromes based on satellite observations». *Global and Planetary Change*, 64, p. 146-157.
- IGLESIAS, A.; ROSENZWEIG, C.; PEREIRA, D. (2000). «Agricultural impacts of climate change in Spain: developing tools for a spatial analysis». *Global Environmental Change*, 10, p. 69-80.
- IPCC (2001). *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ISMAIL-ZADEH, A.; TAKEUCHI, K. (2007). «Preventive disaster management of extreme natural events». *Natural Hazards*, 42, p. 459-467.
- JIMÉNEZ, J.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; VALDEMORO, H. [et al.] (1997). «Processes reshaping the Ebro delta». *Marine Geology*, 144, p. 59-79.
- KHARIM, V.V.; ZWIERS, F.W. (2000). «Changes in extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM». *Journal of Climate*, 13, p. 3760-3788.
- KURIAN, N.P.; NIRUPAMA, N.; BABA, M.; THOMAS, K.V. (2009). «Coastal flooding due to synoptic scale, meso-scale and remote forcings». *Natural Hazards*, 48, p. 259-273.
- LEVITUS, S.; ANTONOV, J.I.; BOYER, T.P.; STEPHENS, C. (2000). «Warming of the world ocean». *Science*, 287, p. 2225-2229.
- LIEBSCH, G.; NOVOTNY, K.; DIETRICH, R. (2002). *Untersuchung von Pegelreihen zur Bestimmung der Änderung des mittleren Meeresspiegels an den europäischen Küsten*. Dresden: Technische Universität Dresden (TUD).
- LIONELLO, P.; COGO, S.; GALATI, M.B.; SANNA, A. (2008). «The Mediterranean surface wave climatic inferred from future scenario simulations». *Global and Planetary Change*, 63, p. 152-162.
- MANASRAH, R.; RASHEED, M.; BADRAN, M. (2006). «Relationships between water temperature, nutrients and dissolved oxygen in the northern Gulf of Aqaba, Red Sea». *Oceanologia*, 48, p. 237-253.
- MARACCHI, G.; SIROTENKO, O.; BINDI, M. (2005). «Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe». *Climatic Change*, 70, 117-135.
- MARKFORT, C.D.; HONDZO, M. (2009). «Dissolved Oxygen Measurements in Aquatic Environments: The Effects of Changing Temperature and Pressure on Three Sensor Technologies». *Journal of Environmental Quality*, 38, p. 1766-1774.
- MENDOZA, E.T.; JIMÉNEZ, J.A. (2004). «Factors controlling vulnerability to storm impacts along the Catalan coast». *Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering Lisbon, Portugal*, p. 3087-3099.
- MENDOZA, E.T.; JIMÉNEZ, J.A. (2006). «Storm-induced beach erosion on the Catalan Coast». *Journal of Coastal Research*, SI48, p. 81-88.
- METZGER, M.J.; SCHRÖTER, D. (2006). «Towards a spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of environmental change in Europe». *Regional Environmental Change*, 6, p. 201-216.
- MORENO, A.R. (2006). «Climate change and human health in Latin America: drivers, effects and policies». *Regional Environmental Change*, 6, 157-164.
- MÓSSO, C.; MESTRES, M.; SIERRA, J.P. [et al.] (2009). «Waves and Surges in the Valencia Gulf. Variability rather than climate change». *Journal of Coastal Research, Special Issue* 56, 248-251.
- MÓSSO, C.; SIERRA, J.P.; MESTRES, M. [et al.] (2007). «The influence of topography on wind-induced hydrodynamics in Cullera bay». *Journal of Coastal Research*, SI47, 17-30.
- NICHOLLS, N.; GRUZA, G.V.; JOUZEL, J. [et al.] (1996). «Observed climate variability and change». A: HOUGHTON, J.T.; MEIRO FILHO, L.G.; CALLENDAR, B.A. et al. (eds.) *Climate Change 1995*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 133-192 (The Science of Climate Change, vol. 572).
- NICHOLLS, R.J.; HOOZEMAANS, F.M.J. (1996). «The Mediterranean: vulnerability to coastal implications of climate change». *Ocean & Coastal Management*, 31, 105-132.

- OLESEN, J.E.; CARTER, T.R.; DIAZ-AMBRONA, C.H. [et al.] (2007). «Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models». *Climatic Change*, 81, 123-143.
- PARRY, M.L.; ROSENZWEIG, C.; IGLESIAS, A. [et al.] (2004). «Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic ecenarios». *Global Environmental Change*, 14, p. 53-67.
- RAPER, S.C.B.; WIGLEY, T.M.L.; WARRICK, R.A. (2001). «Global sea-level rise: Past and future». IN MILLIMAN, J.D.; HAG, B.U. (eds.). *Sea level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences and Strategies*, Springer.
- RATSIMANDRESY, A.W.; SOTILLO, M.G.; CARRETERO ALBIACH, J.C. [et al.] (2008). «A 44-year high-resolution ocean and atmospheric hindcast for the Mediterranean Basin developed within the HIPOCAS Project». *Coastal Engineering*, 55, p. 827-842.
- REIDSMA, P.; EWERT, F.; LANSINK, A.O.; LEEMANS, R. (2009) «Vulnerability and adaptation of European farmers: a multi-level analysis of yield and income responses to climate variability». *Regional Environmental Change*, 9, p. 25-40.
- RIXEN, M.; BAKERS, J.-M.; LEVITUS, S. [et al.] (2005). «The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change». *Geophysical Research Letters*, 32, L12608.
- RODRÍGUEZ-DÍAZ, J.A.; WEATHERHEAD, E.K.; KNOX, J.W.; CAMACHO, E. (2007). «Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain». *Regional Environmental Change*, 7, p. 149-159.
- SAARIKKO, R.A. (2000). «Applying a site based crop model to estimate regional yields under current and changed climates». *Ecological Modelling*, 131, 191-206.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; GÓMEZ AGUAR, J.; EGOZCUE, J.J. [et al.] (2008) «Extremes from scarce data: the role of Bayesian and scaling techniques in reducing uncertainty». *Journal of Hydraulic Research* vol.46, Extra Issue 2, p. 224-234.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; GONZÁLEZ-MARCO, D.; BOLAÑOS, R. (2008a). «A review of wave climate prediction along the Spanish Mediterranean coast». *Natural Hazards and Earth System Science*, 8, p. 1217-1228.
- SÁNCHEZ-ARCILLA A.; GONZÁLEZ-MARCO, D.; MÖSSO, C.; GÓMEZ, J. (2005a). «Morphodynamic Control on Extreme Coastal Drivers». *Proc. 5th Internacional Conference on Coastal Dynamics*, Barcelona, Spain, 2005.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; JIMÉNEZ, J.A. (1994). «Breaching in a wave-dominated barrier spit: the Trabucador Bar (Northeastern Spanish Coast)». *Earth Surface Processes and Landforms*, 19, p. 483-498.
- (1997). «Physical impacts of climatic change on deltaic coastal Systems (I): an approach». *Climatic Change*, 35, p. 71-93.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; JIMÉNEZ, J.A.; SIERRA, J.P. (2005b). «Zones costaneres: dinàmica sedimentaria». A: LLEBOT, J.E. (ed.) *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*; Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya, Institut d'Estudis Catalans i Servei Meteorològic de Catalunya, p. 609-641.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; JIMÉNEZ, J.A.; STIVE, M.J.F. [et al.] (1996). «Impacts of sea level rise on the Ebro Delta: A first approach». *Ocean & Coastal Management*, 30, p. 197-216.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; MENDOZA, E.T.; JIMÉNEZ, J.A. [et al.] (2008b). «Beach erosion and storm parameters. Uncertainties for the Spanish Mediterranean». *Proc. 31st International Conference on Coastal Engineering*, Hamburg, Germany, p. 2352-2362.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; MÖSSO, C.; MESTRES, M. [et al.] (2007). «Hydrodynamics of a coastal bay: Nature and man-made barriers». *Journal of Coastal Research*, SI47, p. 2-16.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; MÖSSO, C.; SIERRA, J.P. [et al.] (2010) «Climatic drivers and Potential hazards in Mediterranean Coasts». *Regional and Environmental Change* (en revisió).
- SIERRA, J.P.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; GONZÁLEZ DEL RÍO, J. [et al.] (2002). «Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume». *Continental Shelf Research*, 22, p. 361-378.
- SOMOT, S.; SEVAULT, F.; DÉQUÉ, M. (2006). «Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean Sea for the 21st century using a high-resolution ocean circulation model». *Climate Dynamics*, 27, p. 851-879.
- SOMOT, S.; SEVAULT, F.; DÉQUÉ, M.; CRÉPON, M. (2008) «21st century climate change scenario for the Mediterranean using a coupled Atmosphere-Ocean Regional Climate Model». *Global and Planetary Change*, 63, p. 112-126.
- SUN, D.; KAFATOS, M.; CERVONE, G. [et al.] (2007). «Satellite microwave detected SST anomalies and

- hurricane intensification». *Natural Hazards*, 43, p. 273–284.
- TERRAY, L.; BRACONNOT, P. (2007). *Livre Blanc ESCRIME. Étude des Scénarios Climatiques Réalisés par l'IPSL et Météo-France*. Miméo IPSL and Météo-France, p. 70.
- TORRIANI, D.; CALANCA, P.; LIPS, M. [et al.] (2007). «Regional assessment of climate change impacts on maize productivity and associated production risk in Switzerland». *Regional Environmental Change*, 7, p. 209–221.
- TRNKA, M.; DUBROVSKY, M.; ZALUD, Z. (2004). «Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech Republic». *Climatic Change*, 64, 227–255.
- TSIMPLIS, M.; MARCOS, M.; SOMOT, S.; BARNIER, B. (2008). «Sea level forcing in the Mediterranean between 1960 and 2000». *Global and Planetary Change*, 63, p. 325.
- VAN GELDER, P.H.A.J.M.; MAI, C.V.; WANG, W. [et al.] (2008). «Data management of extreme marine and coastal hydro-meteorological events». *Journal of Hydraulic Research*, 46 (Extra Issue 2), p. 191–210.
- VARGAS-YÁÑEZ, M.; MOYA, F.; TEL, E. [et al.] (2009). «Warming and salting in the western Mediterranean during the second half of the 20th century: inconsistencies, unknowns and the effect of data processing». *Scientia Marina*, 73, p. 7–28.
- VOSS, R.; MAY, W.; ROECKNER, E. (2002). «Enhanced resolution modeling study on anthropogenic climate change: changes in extremes of the hydrological cycle». *International Journal of Climatology*, 22, p. 755–777.

10. Impactes, vulnerabilitat i retroalimentacions climàtiques als ecosistemes terrestres catalans

Josep Peñuelas, Iolanda Filella, Marc Estiarte, Romà Ogaya, Joan Llusà, Jordi Sardans, Alistair Jump, Jorge Curiel, Jofre Carnicer, This Rutishauser, Laura Rico, Trevor Keenan, Martín Garbulsky, Marta Coll, Maria Diaz de Quijano, Roger Seco, Albert Rivas-Ubach, Jorge Silva, Martí Boada, Constantí Stefanescu, Francisco Lloret i Jaume Terradas*

Unitat d'Ecologia Global CSIC-CEAB-CREAF, CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals), Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra

Josep Peñuelas i Reixach és professor d'Investigació del CSIC. Dirigeix la Unitat d'Ecologia Global CREAF-CEAB-CSIC. És *highly cited* de l'ISI *Essential Science Indicators* en ecologia/medi ambient, en biologia vegetal i animal i en el conjunt de tots els camps científics. Ecòleg especialitzat en ecofisiologia, estudia les interaccions biosfera-atmosfera. Temes recents de treball: canvi global, canvi climàtic, contaminació atmosfèrica, emissions biogèniques de COV, teledetecció, ecofisiologia vegetal, i funcionament i estructura dels ecosistemes mediterranis.

Iolanda Filella Cubells és investigadora científica del CSIC. Pertany a la Unitat d'Ecologia Global CSIC-CEAB-CREAF (CREAF, Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals). Ecòloga especialitzada en ecofisiologia vegetal. Temes recents de treball: canvi global, canvi climàtic, contaminació atmosfèrica, teledetecció, ecofisiologia vegetal, fenologia, funcionament i estructura dels ecosistemes mediterranis.

Marc Estiarte va néixer a Lleida el 1966. És doctor en biologia per la Universitat de Barcelona. Ha treballat estudiant els efectes de l'augment del CO₂ atmosfèric en la vegetació, i especialment en la composició química de les plantes. Darrerament, mitjançant la manipulació experimental de la temperatura i la precipitació en matollars mediterranis, estudia els efectes del canvi climàtic en l'ecofisiologia de les plantes i en la biogeoquímica dels ecosistemes. Actualment treballa com a científic titular en la Unitat d'Ecologia Global del CREAF-CEAB-CSIC.

Romà Ogaya Inurrigarro és investigador a la Unitat d'Ecologia Global CSIC-CEAB-CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals). La seva línia de recerca se centra en el creixement i l'ecofisiologia de les principals espècies mediterrànies, i la seva dependència de les diferents condicions climàtiques. Entre els seus objectius hi ha l'estudi dels efectes del canvi climàtic en el desenvolupament i distribució de les espècies dominants del bosc mediterrani, amb especial èmfasi en la disminució de la disponibilitat d'aigua prevista per les properes dècades a les zones de clima mediterrani.

* Agraïm el finançament de l'Institut d'Estudis Catalans per dur a terme aquest capítol, i el finançament d'una gran part de la recerca aquí exposada a càrrec del Govern espanyol (projectes CGL2006-04025 i Consolidar Montes CSD2008-00040) i del Govern català (projecte SGR2009-458).

Joan Llusà és investigador a la Unitat d'Ecologia Global CSIC-CEAB-CREAF. Doctor en Biologia, les seves línies de recerca, en l'àmbit de l'ecofisiologia, abarquen l'estudi dels factors abiòtics (temperatura, humitat, llum, ozó) i biòtics (relacions planta-planta, planta-animal) que afecten tant les emissions com el contingut de compostos orgànics volàtils (COVB) en plantes tropicals i mediterrànies, des d'una perspectiva tant individual com d'ecosistema, contextualitzant-ho en el marc del canvi global. Els resultats de les seves recerques són publicats en nombrosos articles de revistes d'àmbit internacional (incloses en el SCI) i nacional.

Jordi Sardans Galobart és investigador del CREAF i està adscrit al grup de recerca de la Unitat d'ecologia global del CSIC-CEAB-CREAF (Centre de Recerca Ecològica d'Aplicació Forestal). Doctor en Biologia i llicenciat en Ciències Químiques i en Farmàcia, les seves línies d'investigació són: els cicles biogeoquímics, l'ecofisiologia, la contaminació d'elements traça i els estudis metabolòmics i estequiomètrics en ecosistemes terrestres, fonamentalment mediterranis. Tanmateix, està focalitzant part dels seus estudis recents en els efectes dels canvis de la disponibilitat d'aigua i nutrients, i de la contaminació, en les respostes adaptatives de les plantes a través de l'estudi dels canvis químics dels seus teixits, a fi de conèixer millor el funcionament dels ecosistemes mediterranis i dels efectes que el canvi global poden tenir en la seva estructura i funcionament.

Alistar Jump Professor de la Universitat de Stirling a Escòcia. Ecòleg especialitzat en els estudis dels efectes del canvi climàtic sobre la distribució i la productivitat de les espècies vegetals, i en l'ús de l'ecologia molecular per desentrellar-ne els processos implicats.

Jorge Curiel Yuste és investigador del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) des de juliol de 2008. Doctorat en Ciències per la Universiteit Antwerpen (UA), ha fet estades post-doctorals en aquest mateix centre, a la University of California at Berkeley i a l'Scottish Crop Research Center (Durham, Escòcia). El 2007 va ser guardonat amb una beca postdoctoral Marie Curie (IEF) al CREAF on col·laborà durant dos anys amb la Unitat d'Ecologia Global CREAF-CEAB-CSIC liderada pel professor Josep Peñuelas. Les seves recerques s'han centrat en l'estudi de l'efecte del canvi climàtic sobre els balanços de carboni en ecosistemes terrestres, i també en la influència del canvi climàtic sobre les poblacions microbianes del sòl.

Jofre Carnicer és investigador post-doctoral a la Universitat de Groningen (Holanda). Les seves línies de recerca abarquen els efectes del canvi global en les dinàmiques poblacionals de papallones, ocells i plantes de la península ibèrica; els processos ecoevolutius que originen els gradients de riquesa d'espècies i les xarxes d'interacció planta-animal; i la teoria d'optimalitat en l'evolució del metabolisme i les formes de vida. Ha treballat també en la divulgació i l'estudi de les interaccions entre canvi climàtic, la crisi energètica global, i les polítiques de transició energètica i descarbonització de la societat.

This Rutishauser és professor ajudant a la Universitat de Bern, Suïssa, i investigador postdoctoral al Centre de recerca ecològica i aplicacions forestals (CREAF), a la Universitat Autònoma de Barcelona. És doctor en Geografia, Història i Ciències del clima. La seva recerca se centra en l'estudi de la fenologia de les plantes dins del sistema climàtic, des d'escala local fins a escala continental durant els darrers anys i segles. Per a la seva recerca utilitza informació extreta de bases de dades fenològiques, conjunts de dades històriques, sensors remots i diversos mètodes de modelització.

Laura Rico Cabanas Llicenciada en Biologia (UB, 1999) i doctorada en Biotecnologia (UB, 2006) amb una tesi doctoral realitzada al Laboratori de Genètica Molecular Vegetal de l'IBMB-CSIC, centrada en l'estudi de l'estructura del genoma, més concretament en la caracterització d'elements mòbils [MGG (2007) 277: 365-377]. Té experiència en diverses àrees de la biologia (biologia molecular, la genòmica de plantes, la seqüenciació del DNA, genotipatge i desenvolupament de nous marcadors moleculars, l'expressió gènica i la bioinformàtica). Actualment està vinculada a la Unitat d'Ecologia Global CSIC-CEAB-CREAF on aplica tècniques d'ecologia molecular per tal de reconstruir la resposta de poblacions vegetals sotmeses a l'efecte de la fragmentació de l'hàbitat i el canvi climàtic.

Trevor Keenan Post-Doctoral Researcher al CREAF de la UAB Treballa en la modelització dels efectes del canvi climàtic.

Martín Garbulsky actualment és investigador a la Unitat d'Ecologia Global CSIC-CEAB-CREAF CREAF de la UAB. Candidat a doctor a la Universitat Autònoma de Barcelona, i docent-investigador de la Universitat de Buenos Aires (Argentina), s'ha format inicialment com a enginyer agrònom i s'ha especialitzat en ecologia d'ecosistemes. Les principals àrees d'interès de les seves investigacions són els patrons i controls de la productivitat primària (PPNA) a escala global i els efectes del canvi global, la teledetecció de la PPNA, la relació entre els canvis en la PPNA i grans herbívors i la teledetecció de processos ecofisiològics en les plantes. Els resultats de les seves investigacions són publicats en revistes científiques internacionals així com en revistes de divulgació.

Marta Coll és biòloga per la Universitat Autònoma de Barcelona. Actualment realitza la seva tesi doctoral a la Unitat d'Ecologia Global CREAF-CEAB-CSIC estudiant els efectes del canvi climàtic sobre l'estat dels boscos catalans i europeus.

Maria Díaz de Quijano és biòloga per la Universitat de Barcelona. Actualment realitza la seva tesi doctoral a la Unitat d'Ecologia Global CREAF-CEAB-CSIC estudiant els efectes del canvi climàtic i l'augment d'ozó atmosfèric sobre l'estat dels boscos del Pirineu.

Roger Seco és biòleg per la Universitat Autònoma de Barcelona i actualment realitza la tesi doctoral al CREAF de la UAB estudiant la interacció entre la biosfera i l'atmosfera. El seu camp de treball és l'intercanvi (emissió i absorció) de compostos orgànics volàtils (COV) entre les plantes i l'aire, especialment en espècies mediterrànies com el pi blanc (*Pinus halepensis*) i l'alzina (*Quercus ilex*).

Albert Rivas-Ubach és biòleg per la Universitat Autònoma de Barcelona. Actualment realitza la seva tesi doctoral a la Unitat d'Ecologia Global CREAF-CEAB-CSIC estudiant la metabolòmica i l'estequiometria de les plantes mediterrànies en resposta al canvi climàtic.

Jorge Silva és biòleg per la Universitat de Vigo. Actualment realitza treballs d'anàlisi de camp i de laboratori en els sistemes experimentals on la Unitat d'Ecologia Global CREAF-CEAB-CSIC estudia els efectes del canvi climàtic sobre l'estat dels boscos i matollars catalans.

Martí Boada i Juncà és professor titular i investigador del Departament de Geografia i de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Doc-

tor en Ciències Ambientals i llicenciat en Geografia, les seves principals línies d'investigació se centren en el canvi ambiental global i la biodiversitat des de la perspectiva social, centrada particularment en el sistema urbà i els boscos. La seva tasca divulgadora en el camp de les ciències ambientals s'ha traduït en la publicació de nombrosos articles científics, de divulgació i d'opinió; en la participació en nombrosos congressos nacionals i internacionals, i en la publicació d'una cinquantena de llibres. Entre els reconeixements més destacats que ha rebut s'inclouen el Premi Global 500 de Nacions Unides (1995), la Creu de Sant Jordi (1999) i el Premi Nacional de Medi Ambient (2005). És conseller del CADS.

Constantí Stefanescu. Investigador de la Unitat d'Ecologia Global CREAM-CEAB-CSIC i del Museu de Granollers. Ecòleg especialitzat en l'estudi de les papallones en tots els seus aspectes, des dels mol·leculars als poblacionals i globals. Ha dut a terme nombrosos treballs sobre els efectes del canvi climàtic sobre la seva biologia.

Francisco Lloret Maya és catedràtic d'Ecologia del Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona i investigador del CREAM. Va realitzar els estudis de Biologia i el doctorat a la Universitat Autònoma de Barcelona, i ha realitzat estades de recerca a la San Diego State University (Califòrnia, USA), la University of Madison (Wisconsin, USA), l'Instituto de Ecologia de la UNAM (Mèxic), el Center for Tropical Forest Research, CSIRO, Atherton (Australia) i la University of Montana, Missoula (USA). El seu camp de recerca ha estat l'estudi de les pautes de composició específica i de la dinàmica de comunitats vegetals, i més en concret: 1) la dinàmica de poblacions i la seva resposta funcional en un context de canvi climàtic; 2) la resposta de les comunitats mediterrànies al règim de perturbacions, particularment als incendis forestals; 3) els patrons en l'àmbit de la comunitat dels caràcters de les espècies en relació amb els gradients de perturbació i productivitat.

Jaume Terradas i Serra és catedràtic emèrit d'Ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona. Va organitzar el primer equip de recerca sobre ecosistemes terrestres a Catalunya i va ser un dels primers impulsors de l'educació ambiental a Espanya. Va ser promotor i primer director (1988-1998) del CREAM. Ha rebut nombroses distincions i premis nacionals per les seves tasques de recerca i divulgació.

Resum	379
10.1. Introducció: impactes, afectació de serveis i gestió	381
10.2. Canvis fenotípics: cicles vitals alterats i conseqüències a les comunitats i als ecosistemes	384
10.3. Adaptabilitat genètica de les espècies. Significativa però impotent davant el canvi actual	386
10.4. Migracions i extincions	387
10.5. Canvis en diversitat, biogeoquímica i funcionament	390
10.6. Altres canvis observats als nostres ecosistemes en relació amb el canvi climàtic	393
10.7. Efectes directes de l'augment de CO ₂ sobre els ecosistemes	396
10.8. El futur dels nostres ecosistemes terrestres davant el canvi climàtic previst per a les properes dècades	396
10.8.1. Boscos	397
10.8.2. Matollars	398
10.9. Retroalimentacions biològiques sobre el canvi climàtic	401
10.10. Béns i serveis dels ecosistemes terrestres. Alteració pel canvi climàtic i gestió	402
Referències	403

Resum

Si la combinació del canvi climàtic, les pertorbacions associades (inundacions, sequeres, incendis forestals...) i els canvis en els altres components del canvi global (sobretot els canvis d'usos del sòl, la contaminació i la sobreexplotació dels recursos) continuen com fins ara, poden superar la resiliència de molts ecosistemes (la seva capacitat per adaptar-se naturalment) (IPCC, 2007a). Amb la qual cosa se n'alteraria l'estructura i el funcionament, i es comprometrien els serveis que actualment proporcionen. L'efecte del canvi climàtic vindrà influït per les interaccions amb aquests altres components del canvi global i per la gestió que es faci de tot plegat.

El canvi climàtic és global, però els impactes ecològics varien localment. Els efectes del canvi climàtic seran diferents a les diverses àrees climàtiques, amb efectes més importants de l'escalfament a les àrees fredes (limitades per l'energia) i amb efectes més importants de l'eixut a les àrees més càlides i àrides (limitades per la disponibilitat d'aigua).

A mesura que cada espècie respon al canvi climàtic, canvien també les seves interaccions amb els altres organismes i amb el mon fisicoquímic. Tot plegat genera una cascada d'impactes a través de tot l'ecosistema. Aquests impactes inclouen l'expansió d'algunes espècies a noves àrees i la seva desaparició en d'altres.

A Catalunya ara ja hi ha una quantitat substancial d'evidències observacionals i experimentals dels primers efectes biològics del canvi climàtic que hem viscut en les darreres dècades. La primavera s'ha avançat i l'hivern arriba més tard, de manera que el període vegetatiu s'ha perllongat uns quatre dies per dècada durant els darrers cinquanta anys, amb fortes implicacions per als éssers vius i el medi ambient. A més, algunes espècies s'han desplaçat cap a altituds i latituds més elevades. En els casos més extrems, algunes poblacions estan en perill per la sinergia entre l'estrès produït pel canvi climàtic, que fa inadequats els hàbitats on vivien, i pels canvis en els usos del sòl, com ara la fragmentació del territori, que dificulten la migració cap a hàbitats

amb condicions adients per a la seva supervivència. A les darreres dècades hi ha hagut també un augment de l'eficiència en l'ús de l'aigua per part de la vegetació, però tot i això, la sequera progressiva dels darrers anys s'ha traduït en creixents defoliacions i en força casos menor creixement dels arbres.

Unes espècies són més afectades que altres, amb la qual cosa s'altera la seva habilitat competitiva i, en darrer terme, la composició de la comunitat. S'ha vist, per exemple, una disminució de la riquesa d'espècies dels nostres matollars en els experiments que simulen l'escalfament i la sequera projectats a les properes dècades. Els gèneres mediterranis postpliocè semblen més adaptats per respondre a un medi no fàcilment previsible amb una gran variabilitat estacional i interanual i subjecte a pertorbacions freqüents. Aquests estudis experimentals mostren també que la sequera prevista per a les properes dècades exerceix un efecte negatiu sobre la diversitat bacteriana dels sòls, que va associat a una disminució en la descomposició de la matèria orgànica i també de la seva capacitat de resposta a l'augment de la temperatura.

Aquests canvis en la composició d'espècies de les comunitats vegetals, animals i microbianes han estat acompanyats per nombrosos canvis funcionals, com per exemple minves de l'activitat enzimàtica del sòl, del reciclatge de nutrients, del fòsfor acumulat als teixits vegetals als boscos i de l'absorció de CO₂ produïdes per les sequeres, o una major pèrdua de nutrients en els lixiviats després de les pluges i un augment de les emissions de compostos orgànics volàtils biogènics (COVB) en resposta a l'escalfament. I aquests canvis en generen d'altres en cascada; per exemple, aquests augments de COVB canvien la comunicació entre els organismes i afecten també la química atmosfèrica i el clima.

Els canvis biològics generats pel canvi climàtic, alhora tenen efectes significatius sobre el mateix canvi climàtic, tant per processos biogeològics com per processos biofísics. Entre els

primers destaquen la fixació de carboni, és a dir, l'actuació com a embornals del CO_2 atmosfèric, i les emissions de compostos orgànics volàtils. Pel que fa als efectes biofísics dels canvis en l'activitat i l'estructura de la vegetació produïts pel canvi climàtic, semblen especialment importants els que afecten l'albedo, la turbulència i les calors latent i sensible, tots ells mereixedors d'estudis quantitativament més detallats.

Tots aquests canvis afecten i afectaran els múltiples serveis productius (subministrament de béns naturals renovables, com ara productes de fusta, caça, bolets, pastures, medicines, aliments...), ambientals (manteniment de la biodiversitat, regulació de la composició atmosfèrica, del cicle hidrològic i del clima, la protecció del sòl contra l'erosió, emmagatzematge de carboni...) i socials (usos recreatius, educatius i de lleure, valors tradicionals culturals, turisme i excursionisme...) proporcionats pels ecosistemes terrestres.

Un dels serveis més vinculats al canvi climàtic és de la fixació de CO_2 . Les respostes al canvi

climàtic i altres factors del canvi global alteraran l'emmagatzematge de carboni als ecosistemes terrestres, però l'extensió i la direcció del canvi no quedaran clars. Com a resultat dels múltiples canvis climàtics i globals, els models preveuen una producció ecosistèmica neta mitjana de $134 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$ per al conjunt dels ecosistemes forestals de Catalunya, tant ara com a mitjan d'aquest segle XXI.

Les estratègies multiús per a la gestió i rehabilitació dels ecosistemes terrestres del país davant de perturbacions climàtiques reclamen un gran esforç educatiu, de recerca i governamental. En els propers anys, les polítiques de reforestació i de gestió d'espais agrícoles abandonats haurien de tenir en compte els canvis que s'estan produint i les condicions que s'estan projectant per al futur immediat. Entre aquestes, hi destaca la d'una decreixent disponibilitat hídrica com a conseqüència, tant de la disminució de les precipitacions i/o l'augment de l'evapotranspiració potencial com de la major demanda d'uns ecosistemes actius més temps i d'una població creixent.

10.1. Introducció: impactes, afectació de serveis i gestió

Si la combinació del canvi climàtic, les pertorbacions associades (per exemple, inundacions, sequeres, incendis forestals...) i els canvis en els altres components del canvi global (sobretot els canvis d'usos del sòl, la contaminació i la sobreexploatació dels recursos) continuen com fins ara, és probable que superin la resiliència de molts ecosistemes (la seva capacitat per adaptar-se naturalment) (IPCC, 2007a), tot alterant-ne l'estructura i el funcionament (Walther *et al.*, 2002), i es comprometin els serveis que actualment proporcionen (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). L'impacte del canvi climàtic que aquí estudiem vindrà influït per les interaccions amb aquestes altres pressions i per la gestió que es faci de tot plegat.

A mesura que cada espècie respon al canvi climàtic, canvien també les seves interaccions amb els altres organismes i amb el món fisicoquímic. Tot plegat genera una cascada d'impactes en tot l'ecosistema. Aquests impactes, com veurem, inclouen l'expansió d'algunes espècies a noves àrees i fins i tot extincions. El canvi climàtic és global, però els impactes ecològics varien en funció de cada lloc. Per mostrar com el canvi climàtic afecta espècies i ecosistemes particulars del nostre país, presentem observacions majoritàriament dutes a terme a Catalunya.

A Catalunya, com passa arreu del planeta, ara ja hi ha una quantitat substancial d'evidències observacionals i experimentals sobre el lligam entre el canvi climàtic i els processos biològics i fisicoquímics dels ecosistemes. L'augment de temperatures, les noves pautes de precipitacions i altres canvis climàtics ja estan afectant els nostres ecosistemes i els seus organismes, a més de la nostra societat. Per exemple, ara ja és ben sabut que l'aparició de la primavera s'ha avançat i que l'arribada de l'hivern s'ha retardat, de manera que el període vegetatiu s'ha perllongat uns 4 dies per dècada de mitjana durant els darrers cinquanta anys. Com que els canvis han estat diferents per a cada espècie, han variat les habilitats competitives, i es pot esperar que en derivin canvis en la composició de les comunitats i desplaçaments en la distribució de les espècies. De fet,

ja se n'han descrit a les muntanyes del país, on les espècies mediterrànies sembla que es desplacen cap a altituds més elevades. En els casos més extrems, les poblacions d'algunes espècies estan en perill per la sinergia entre l'estrès produït pel canvi climàtic, que fa inadequats els hàbitats on vivien, i pels canvis en els usos del sòl, com ara la fragmentació del territori, que en dificulta la migració cap a hàbitats amb condicions adients per a la seva supervivència.

Als ecosistemes terrestres catalans, majoritàriament mediterranis, la disponibilitat hídrica té un paper cabdal en la composició de la vegetació i en la distribució de les espècies. És clar que una aridificació progressiva com la viscuda (escalfament i augment de l'evapotranspiració potencial sense augment de precipitacions) i la prevista per a les properes dècades (escalfament i, a més, disminució de les precipitacions), ha de tenir conseqüències importants per a la fisiologia, la fenologia, el creixement, la reproducció, l'establiment i, finalment, la distribució dels éssers vius i, per tant, sobre l'estructura i el funcionament dels ecosistemes. De fet, ja s'ha comprovat tant en estudis observacionals de les darreres dècades, com en estudis experimentals d'escalfament i de sequera, que hi ha espècies més afectades que d'altres, amb la qual cosa s'altera la seva habilitat competitiva i, en darrer terme, la composició de la comunitat. S'ha observat, per exemple, una disminució de la riquesa d'espècies dels nostres matollars. A més d'aquests canvis estructurals, també s'han trobat canvis funcionals, com per exemple la disminució de l'absorció de CO₂ produïda per les sequeres o la major pèrdua de nutrients en els llixiviats després de les pluges produïda per l'escalfament. S'han observat molts altres canvis en les darreres dècades com a resposta a aquest canvi climàtic: secades dels boscos més freqüents, més risc d'incendis, més emissions de compostos orgànics volàtils biogènics dels nostres ecosistemes...

Aquests canvis afecten i afectaran els múltiples serveis productius (subministrament de béns naturals renovables, com ara aliments, medicines, productes de fusta, caça, bolets, pastures...), ambientals (manteniment de la biodiversitat, regulació de la composició atmosfèrica i el

clima, conservació del sòl i l'aigua, emmagatzematge de carboni...) i socials (usos recreatius, educatius i de lleure, valors tradicionals culturals, turisme i excursionisme...) proporcionats pels ecosistemes terrestres. Un dels serveis que més continua preocupant en les polítiques ambientals és el vinculat al balanç de carboni. Les respostes al canvi climàtic i altres factors del canvi global alteraran l'emmagatzematge de carboni als boscos, però l'extensió i la direcció del canvi no queden clars. L'augment de CO_2 atmosfèric pot incrementar el creixement d'arbres i matolls, així com la fullaraca i les arrels i, per tant, la producció primària neta, però els darrers experiments de fumigació amb CO_2 a l'aire lliure i els duts a terme en les fonts naturals de CO_2 , és a dir, en condicions naturals i/o a llarg termini, així com el mesurament dels anells dels arbres, ens indiquen que aquests efectes del CO_2 poden saturar-se perquè els boscos estan arribant a la seva màxima capacitat i les plantes es poden aclimatar a aquest augment de CO_2 i/o perquè hi ha altres factors que passen a ser limitants, com per exemple, al nostre país, la disponibilitat d'aigua. L'augment de temperatura pot tenir tant efectes positius com negatius sobre aquest balanç de carboni, en gran part en funció de com evolucioni la disponibilitat d'aigua. Als nostres ecosistemes mediterranis, on el canvi climàtic fàcilment farà disminuir la humitat del sòl, la productivitat pot fàcilment decreixer i, per tant, també l'absorció de CO_2 . A més, la productivitat de l'ecosistema, que inclou la mortalitat dels organismes i la dinàmica del carboni del sòl, i la productivitat del bioma, que inclou pertorbacions com els incendis, és menys probable que augmenti. Com a resultat de tot això, els models preveuen una producció ecosistèmica neta mitjana de $134 \text{ g C m}^{-2} \text{ any}^{-1}$ per al conjunt dels ecosistemes forestals de Catalunya, tant ara com a meitat de segle (Gracia *et al.*, 2010), tot i que en aquest darrer cas resulta una producció primària bruta i una respiració total de quasi un 60% més grans que en l'actualitat, com a resultat d'un increment anual del CO_2 atmosfèric d'un 1%, i de la temperatura de $0,04^\circ\text{C}$ i d'una disminució d'un 0,03% de la pluja, valors conservadors entre les previsions actuals de l'IPCC (2007b), fins i tot per sota del que ja s'està pro-

duint (Canadell *et al.*, 2007). Com que, a més, tot això disminuirà encara més la reserva hídrica dels sòls, el paper de molts dels nostres ecosistemes terrestres com a embornals de carboni pot veure's seriosament compromès durant les properes dècades. Cal també tenir present que el balanç del carboni ve influït de manera important pels canvis en els usos del sòl, sovint més que no pas pel canvi climàtic, o per l'augment de CO_2 .

Els propers anys, i per pal·liar tant els efectes del canvi climàtic com l'augment de CO_2 atmosfèric que n'és l'origen, les polítiques de reforestació de zones pertorbades i de gestió de l'«aforestació» d'espais agrícoles abandonats haurien de tenir en compte les condicions que s'estan projectant per als propers anys i dècades. Entre aquestes, hi destaca la d'una decreixent disponibilitat hídrica com a conseqüència tant de la disminució de les precipitacions i/o l'augment de l'evapotranspiració potencial, com de la major demanda d'uns ecosistemes més actius i d'una població creixent. La gestió dels espais forestals, i dels naturals en general, ha d'incorporar una escala de paisatge en què s'inclougui una planificació a gran escala que consideri la combinació d'espais de tipus diversos, així com el seu múltiple ús i l'efecte de les pertorbacions, com per exemple els incendis forestals.

Per conèixer millor en quin grau s'alteren i s'alteraran el funcionament i l'estructura dels ecosistemes mediterranis, es duen a terme estudis les condicions experimentals dels quals es procura que siguin al més similars possible a les naturals, i així, aprofitant els avenços tecnològics, s'apliquen a les diverses escales temporals i espacials per tal que ens donin idea de l'abast de l'alteració dels processos. Aquests estudis abasten des dels períodes més remots als del futur més immediat, tot passant per les darreres dècades, fins a l'actualitat, i des dels estudis descriptius als experimentals, a més de la modelització en l'espai i el temps. L'estudi dels efectes que aquests canvis climàtics tenen sobre els nostres ecosistemes terrestres es du a terme mitjançant cinc tipus d'activitats que recorren diferents escales temporals: 1) l'estudi paleoecològic de testimonis sedimentaris d'èpoques pretèrites, des de milions a milers d'anys; 2) l'estudi de material històric divers, com ara espècimens d'herbari, peces de museus, arxius, anells dels arbres, dels

darrers segles; 3) l'estudi dels canvis ecofisiològics, biogeoquímics i demogràfics dels nostres ecosistemes en resposta a les canviants condicions climàtiques de les darreres dècades i dels darrers anys; 4) l'estudi experimental dels nostres ecosistemes en condicions més o menys controlades simuladores dels canvis previstos per a les properes dècades pels models climàtics, i, finalment, 5) la modelització dels canvis passats i futurs, en l'espai i en el temps.

Els estudis paleoecològics de testimonis sedimentaris ens mostren els canvis ecosistèmics associats als canvis climàtics d'èpoques passades, com l'holocè recent. Destaquen, per la possible similitud amb el canvi que ara vivim, les transicions des de períodes humits a més secs, amb canvis dramàtics de vegetació i processos erosius, com el que va tenir lloc després de l'òptim climàtic de fa 5.000-6.000 anys, especialment evident en zones àrides i càlides com les del sud de la península ibèrica o, més a prop nostre, a Menorca i Mallorca, que ens il·lustren (Estiarte *et al.*, 2008) com poden ser els escenaris futurs si continua el canvi climàtic que vivim i el previst pels models de l'IPCC.

Els estudis d'èpoques més properes, els darrers segles, duts a terme amb anells dels arbres i amb materials d'herbari recol·lectats als Països Catalans, han mostrat canvis en la morfologia i fisiologia de les plantes produïts en paral·lel als canvis atmosfèrics i climàtics. S'ha comprovat, per exemple, que en els darrers dos segles la densitat estomàtica ha disminuït un 21% i la discriminació del ^{13}C en un 5,2% en el conjunt de catorze espècies estudiades, tot indicant, junt amb estudis posteriors dels anells dels arbres, una possible adaptació a les condicions més càlides i àrides de l'actualitat mitjançant una major eficiència en l'ús de l'aigua (Peñuelas i Matamala, 1990; Peñuelas i Azcón-Bieto, 1992; Martínez-Vilalta, *et al.*, 2008; Peñuelas *et al.*, 2008; Andreu *et al.*, 2008). Tot i això, en les darreres dècades el seguiment anual de l'estat dels boscos —tant efectuat per diferents grups de recerca del país com per l'Administració, per exemple el Ministeri del Medi Ambient espanyol— ens ha permès comprovar com la sequera progressiva dels darrers anys ha anat malmetent l'estat sanitari dels nostres boscos (Carnicer *et al.*, 2010).

A part d'emprar eines paleoecològiques i històriques per moure'ns en el temps, els estudis del canvi climàtic i dels seus efectes demanen anar ascendint successivament en l'escala espacial des dels gens fins als organismes, l'ecosistema, la regió i el globus sencer. Per estudiar què passa a escala regional i planetària s'empren tècniques de teledetecció. Aquestes tècniques es basen en el fet que la llum reflectida, després d'incidir en un material, presenta diferents característiques en funció del tipus de material i del seu estat (Peñuelas i Filella, 1998). Els espectroradiòmetres instal·lats en avions o en satèl·lits poden mesurar la biomassa verda per la proporció de radiació reflectida en l'infraroig i en el roig. D'aquesta manera, i des de fa unes dècades, s'estudia l'evolució de les masses vegetals any rere any. Tanmateix, l'estricta estimació de la biomassa, malgrat el seu gran interès, no satisfà del tot les necessitats dels ecòlegs. Interessa mesurar, no solament la biomassa, sinó també el funcionament de la vegetació i, si pot ser, el dels ecosistemes. Ara disposem d'espectroradiòmetres més sensibles, capaços de fer mesuraments amb alta resolució espectral (nanòmetre per nanòmetre) i espacial (de quilòmetres a metres), i així aportar informació sobre el contingut hídric i la fisiologia de la vegetació (Peñuelas i Filella, 1998; Garbulsky *et al.*, 2008, 2010). Tot això és especialment interessant, per exemple, per a l'estudi dels nostres ecosistemes mediterranis, sovint perennifolis. Les noves eines ens permeten observar la pràctica inactivitat de l'alzinar o dels pinars a l'estiu o la seva màxima activitat a la primavera, quan hi ha aigua disponible, o els canvis interanuals (Garbulsky *et al.*, 2008). Així doncs, en l'estudi dels efectes ecològics del canvi climàtic i dels altres components del canvi global, com ara els importants canvis en els usos del sòl, convé no desaproveitar les noves possibilitats obertes pels avenços tecnològics. Entre aquests, hi ha els que estan permetent, tornant a l'escala temporal, estudiar experimentalment i amb modelització el que pot passar als ecosistemes si el canvi climàtic avança com preveuen els models climàtics de l'IPCC (2007b).

En aquest capítol repassem el que s'ha esdevingut en les darreres dècades i el que es preveu per al futur immediat als ecosistemes terrestres del nostre país en resposta i en interacció amb

aquest fenomen que coneixem com el «canvi climàtic», associat al «canvi atmosfèric» produït per l'activitat humana. Ens fixem en els efectes sobre la morfologia, la fisiologia i la fenologia dels organismes vius, les interaccions entre espècies, la distribució de les espècies, l'estructura i el funcionament dels ecosistemes i els efectes de retroalimentació dels canvis biològics sobre el clima. Més detalls i més referències, es poden trobar en els articles i treballs que esmentem.

Els organismes responen al canvi climàtic fent ús de la seva plasticitat fenotípica i també de la molt sovint menystinguda adaptació genotípica (selecció de descendents amb dotacions gèniques més adients a les noves condicions com a resposta a la pressió selectiva que aquestes exerceixen). També responen migrant quan s'obren nous hàbitats adients dins de la distància a la qual es poden dispersar. Aquí presentem els estudis que mostren aquests impactes, i de retruc comentem la retroalimentació, de vegades positiva i de vegades negativa, que aquests impactes tenen sobre el mateix canvi climàtic.

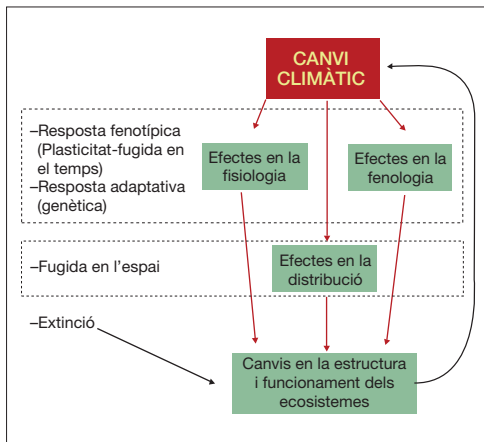


Figura 1. Esquema de les respostes biològiques al canvi climàtic

10.2. Canvis fenotípics: cicles vitals alterats i conseqüències a les comunitats i als ecosistemes

La nostra activitat i l'activitat de tots els organismes vius està fortament influïda per la temperatura. No podem esperar res més que alteracions d'aquesta activitat en escalfar-se el país per sobre

d'1 °C. No ha d'estranyar, doncs, que l'escalfament ja s'hagi traduït en canvis significatius en els cicles vitals de plantes i animals. Recordem que el pas per les diverses fases d'aquests cicles depèn, entre altres factors, de la temperatura acumulada, del que els biòlegs formalitzem com a «graus-dia», és a dir, del total d'energia requerida per un organisme per desenvolupar-se i passar d'un estadi a un altre del seu cicle vital. Les proves d'aquestes alteracions en els cicles vitals ja s'han descrit a diverses regions de tot el món, des dels ecosistemes freds i humits fins als càlids i secs, tot estudiant-ne els registres fenològics disponibles. Aquests canvis fenològics (fenologia és la ciència que estudia la temporalitat de les diverses fases dels cicles vitals dels organismes) s'han convertit en el símptoma més clar que el canvi climàtic ja afecta la vida (Peñuelas i Filella, 2001a).

El nostre país és un dels llocs on els canvis fenològics observats són més importants (Peñuelas *et al.*, 2002, 2004a, 2005). Però d'observacions com les trobades aquí, també n'hi ha, amb resultats comparables, arreu del món. Vegeu per exemple els presentats en la figura 2 referits a tot Europa (Menzel *et al.*, 2006). Aquí, a Catalunya, les fulles dels arbres surten ara de mitjana uns 20 dies abans que no pas fa una cinquantena d'anys. Per exemple, la pomera, l'om, o la figuera poden arribar a treure les fulles amb un mes d'antelació, i l'ametller i el pollancre, uns 15 dies abans, encara que n'hi ha d'altres, com el castanyer, que semblen immutables al canvi de temperatura (segurament són més dependents d'altres factors, com el fotoperíode o la disponibilitat hídrica). D'altra banda, les plantes també estan florint i fructificant de mitjana 10 dies abans que fa 30 anys (Peñuelas *et al.*, 2002). I els cicles vitals dels animals també són alterats. Per exemple, l'aparició d'insectes com les papallones, que passen pels diversos estadis larvaris més ràpidament com a resposta a l'escalfament, s'ha avançat 11 dies de mitjana. Apareixen abans, són més actives i allarguen el seu període de vol (Stefanescu *et al.*, 2003). Tota aquesta activitat prematura de plantes i animals pot posar-los en perill per les gelades tardanes. Però també la freqüència d'aquestes gelades ha canviat; ha disminuït en aquest ambient cada cop més calent. A molts indrets el nombre de gelades anuals ha disminuït a

un terç des de fa cinquanta anys fins ara, i per tant també ha disminuït el risc de malmetre fulles i flors joves. Respostes similars en l'avançament de les fenofases de plantes i animals (invertebrats, amfibis, ocells...), d'uns 3-4 dies per dècada a la primavera, han estat descrites darrerament a molts altres indrets del planeta, de manera que aquest sembla ser un fenomen general, amb la variabilitat regional, local i específica pròpia de tot fenomen biològic (Menzel *et al.*, 2006).

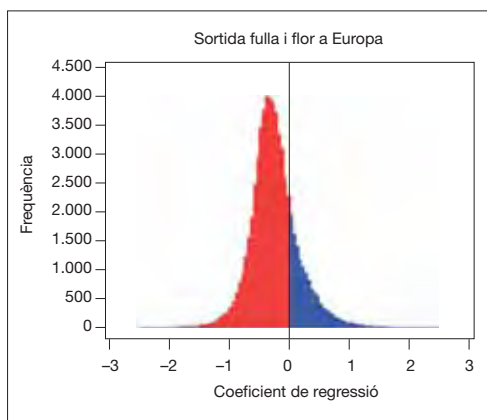


Figura 2. Freqüència de casos amb fenologia avançada i endarrerida a Europa des del 1970 al 2000. Les tendències temporals es mostren com a coeficients de regressió lineal en dies per any (Menzel *et al.*, 2006).

Tots aquests canvis fenològics no són simples indicadors del canvi climàtic. Tenen una importància ecològica crítica, ja que afecten l'habilitat competitiva de les diferents espècies, la seva conservació i, per tant, l'estructura i el funcionament dels ecosistemes. Com que la natura no és homogènia, les respostes a l'escalfament són diferents en funció de l'espècie (i àdhuc dels individus). Aquestes respostes diferents al canvi climàtic produeixen importants desincronitzacions en les interaccions entre les espècies, per exemple entre les plantes i els seus pol·linitzadors, entre les plantes i els seus herbívors, o entre els ocells i el seu aliment, com es mostra en la figura 3 (Grossman, 2004). Treballs recents han mostrat de forma generalitzada asincronies per a diferents nivells tròfics, tant en ecosistemes terrestres com aquàtics (per exemple, Thackeray *et al.*, 2010), la qual cosa du a una alteració de

l'estructura de les comunitats. Un exemple paradigmàtic de les desincronitzacions entre nivells tròfics el tenim en allò que passa a les aus migratòries. El canvi climàtic sembla que també ha alterat els seus hàbits. Atès l'avançament en la floració i fructificació de les plantes i en l'aparició dels insectes, i, per tant, l'avançament en la disponibilitat de menjar per a les aus, es podria esperar una arribada més primerenca de les aus migratòries. I, malgrat tot, l'arribada d'algunes aus tan comunes i populars com el rossinyol, l'orenet, el cucut o la guatlla sembla que s'està endarrerint —almenys a algunes localitats de Catalunya— de mitjana dues setmanes respecte de fa trenta anys. L'endarreriment segurament ve determinat pel canvi climàtic al lloc des d'on parteixen, les regions subsaharianes, o a les regions que travessen en la seva ruta migratòria. Així, la sequera i la desforestació del Sahel, i la consegüent manca d'aliment, poden haver dificultat la preparació del seu viatge i haver afavorit aquesta arribada més tardana. Tots aquests canvis poden representar una amenaça per a algunes aus migratòries que arriben en un moment inapropiat per explotar l'hàbitat, ja que han de competir amb les espècies que s'hi han quedat durant l'hivern i es troben en millor estat competitiu. De fet, el declivi en el nombre d'aquestes aus migratòries que arriben a Europa els darrers anys en pot ser una conseqüència. D'altra banda, hi ha espècies abans migratòries que aprofiten que el nostre

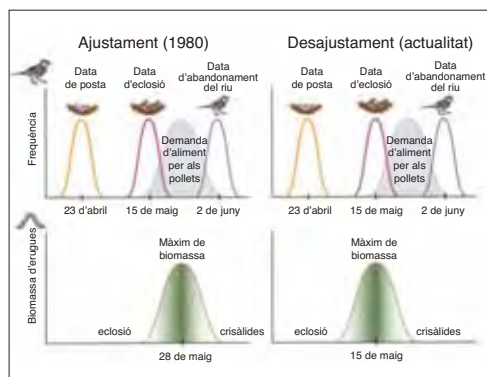


Figura 3. Asincronia en l'eclosió dels ous de la mallerenga carbonera i la biomassa d'erugues de les quals s'alimenten (Grossman, 2004, «Pérdida de sincronía en los ecosistemas». *Investigación y Ciencia*; autors de la figura: Marcel E. Visser, Christiaan Both i Marcel M. Lambrechts; Nadia Strasser.

hivern és cada vegada més suau i ja no se'n van de la península. Aquest és el cas de la puput o de les cigonyes. Atesa la gran importància dels registres fenològics a l'hora de detectar les manifestacions del canvi climàtic, proposem l'inici sistemàtic de registres fenològics, especialment als parcs naturals, als espais naturals protegits, als jardins botànics i a les zones agrícoles. La comparació d'aquests registres i d'altres d'impacte dels canvis climàtics permetria, a més, conèixer millor les diferències entre les respostes dels ecosistemes «naturals» i dels «antropitzats».

Quan ens mirem els canvis fenològics a escala global, trobem alteracions tan importants com ara l'augment de l'activitat biològica del nostre planeta en els últims trenta anys a causa en part a aquest allargament fenològic del període productiu. Ho mostren, tant les imatges dels satèl·lits d'observació de la Terra, com les dades de concentració atmosfèrica de CO_2 (Peñuelas i Filella, 2001a; IPCC, 2007a). Per al seguiment de les masses vegetals des de l'espai s'empren un índex de vegetació normalitzat, l'NDVI. Aquest índex es basa en el quocient entre la radiació infraroja i la roja que la superfície terrestre reflecteix cap a l'espai. Com més gran és aquest quocient, més biomassa verda hi ha. Doncs bé, aquest NDVI corrobora les dades fenològiques dels observadors terrestres i mostra com en els darrers vint anys l'estació de creixement dels vegetals s'ha allargat 18 dies a Euràsia, i això s'ha traduït en un augment de la biomassa verda, com a mínim a latituds superiors als 40° . L'increment de la productivitat vegetal de les darreres dècades, que havíem atribuït a l'efecte fertilitzador del CO_2 i de les deposicions de nitrogen, també pot ser causat en part per aquest augment de temperatura i aquest allargament de l'estació de creixement (activitat vegetativa) almenys a regions on no hi ha el dèficit hídric que caracteritza moltes zones de Catalunya. De fet, les sequeres generalitzades dels darrers 15-20 anys als hemisferis Nord i Sud han tingut com a conseqüència que tot i l'avançament del període de creixement, hagi disminuït la capacitat d'embornal de la vegetació (Zhao i Running, 2010).

Tot això també ve corroborat per les dades de concentració atmosfèrica de CO_2 , que ens mostren canvis de l'oscil·lació estacional de CO_2 en les últimes dècades arran de l'avançada dismi-

nució primaveral de la concentració de CO_2 . Aquest allargament de l'estació de creixement té un paper molt important en la fixació global del carboni, la quantitat de CO_2 de l'atmosfera, i en els cicles de l'aigua i dels nutrients i, per tant, té conseqüències molt importants en el funcionament dels ecosistemes, en el balanç de carboni, i en el propi clima (Peñuelas *et. al.*, 2009).

10.3. Adaptabilitat genètica de les espècies. Significativa però impotent davant el canvi actual

Fins a quin punt s'adapten les plantes i els animals a aquests canvis climàtics ràpids? Doncs sembla que ho intenten amb canvis fenotípics, com ara els esmentats canvis fenològics, i també amb canvis genotípics en la seva descendència, és a dir que sembla que la pressió selectiva ha fet molt més efecte del que havíem pensat fins fa poc. Fins i tot plantes de vida llarga com el faig han mostrat certa capacitat de canviar la freqüència genètica en paral·lel a l'escalfament de les darreres dècades (figura 4). Així ho hem comprovat al Montseny (Jump *et al.*, 2006a). I ho hem comprovat també en plantes de vida més curta com la *Fumana thymifolia* a les brolles del Garraf, on les plantes crescudes en condicions experimentals de sequera (disminució de l'aigua del sòl en un 19%) presenten diferents freqüències de diversos gens ja només després de 6 anys de tractament de sequera relativament suau (Jump *et al.*, 2008). Aquests resultats demostren tant obser-

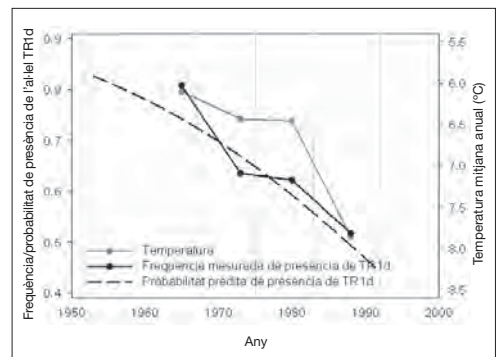


Figura 4. La freqüència de l'al·lel TR1d als faigs del Montseny ha disminuït les darreres dècades en paral·lel amb l'augment de temperatura (Jump *et al.*, 2006a). Noteu que l'eix de la temperatura està invertit per facilitar la comparació amb el canvi de freqüència al·lelica.

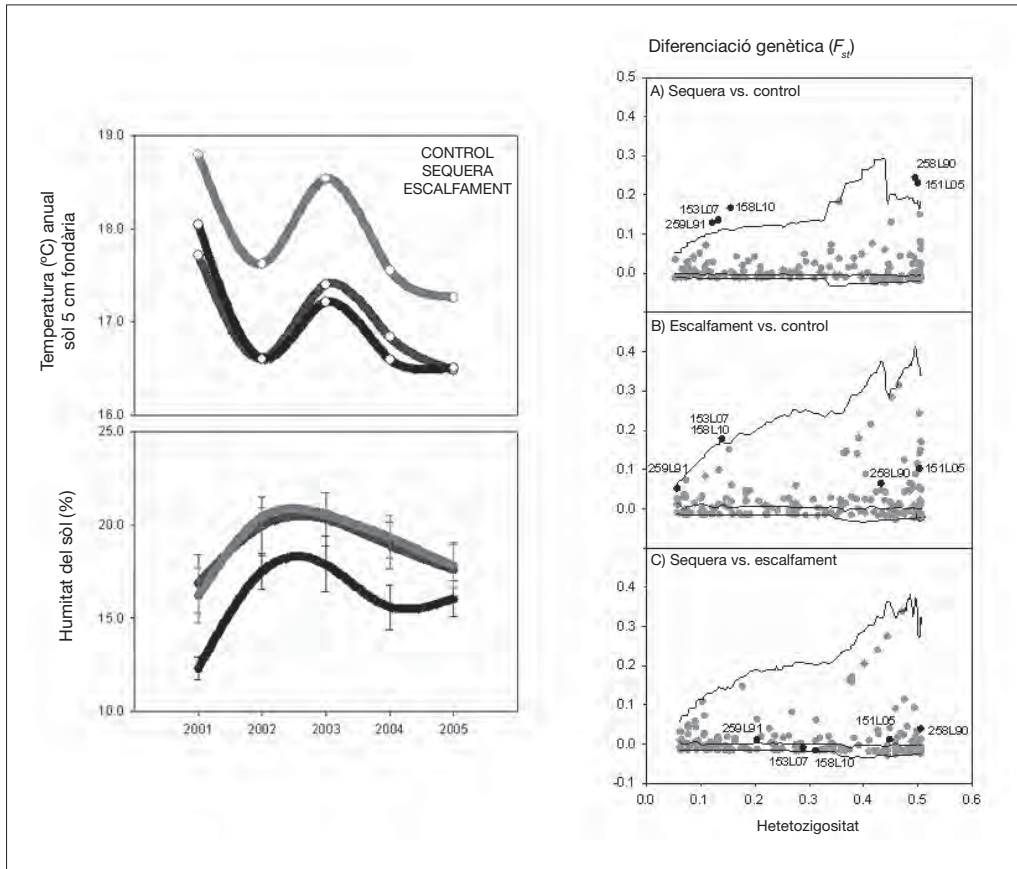


Figura 5. La freqüència de diversos al·lels de *Fumana thymifolia* varia significativament a les població de plantes crescudes amb sequera (19% menys d'aigua al sòl) en els experiments del Garraf. Els al·lels no neutrals detectats en la comparació entre els individus crescuts amb sequera i els crescuts en condicions control estan marcats en negre.

Font: Jump et al., 2008

vacionalment com experimental que hi ha resposta genotípica a les poblacions naturals.

Però tot i això, els canvis genètics no semblen anar a prou velocitat com per poder adaptar les plantes al ràpid canvi climàtic de les darreres dècades. Per això, els mateixos faigs de les zones baixes del Montseny creixen cada vegada menys (50% menys que no pas fa 50 anys) (figura 5) (Jump et al., 2006b), i en general tots els boscos catalans (i els espanyols també) mostren una progressiva defoliació en els darrers anys paral·lelament a la progressiva aridificació i a la seqüència d'anys desfavorables que estem vivint (figura 6) (Carnicer et al., 2010). Per això, l'exclusió parcial de l'aigua de pluja i de l'escoriment superficial, que generen una disminució d'un 15% de

la humitat del sòl en un altre experiment dels deu darrers anys, aquest dut a terme als boscos de Prades, ha reduït el creixement diametral dels tronc un 22%, encara que no totes les espècies han resultat afectades de la mateixa manera. Algunes hi són força sensibles, com ara *Arbutus unedo* i *Quercus ilex*, que mostren, respectivament, una reducció del creixement diametral del 63% i 41%, respectivament, en condicions de sequera, mentre que d'altres, com *Phillyrea latifolia*, no presenten cap disminució apreciable en el seu creixement diametral (figura 8) (Ogaya i Peñuelas, 2007). La mortalitat dels individus mostra un patró semblant, ja que *Arbutus unedo* i *Quercus ilex* mostren una mortalitat més elevada que *Phillyrea latifolia* (Ogaya i Peñuelas, 2007).

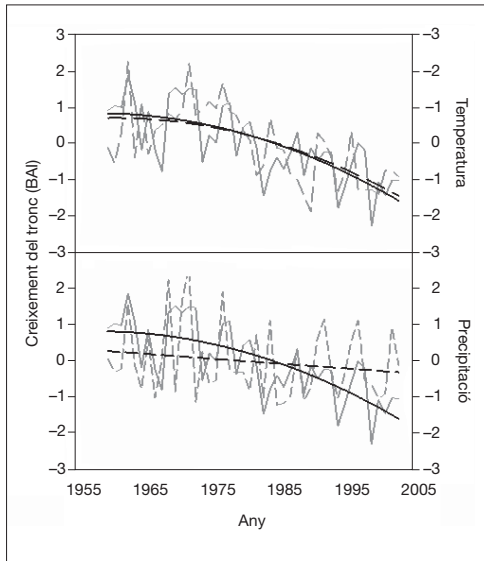


Figura 6. Disminució del creixement del tronc dels faigs a baixa altitud al Montseny en paral·lel a l'augment de temperatures els darrers 50 anys. Les línies trencades mostren les pautes temporals de les variables climàtiques estandarditzades, la línia contínua mostra el creixement del tronc (increment d'àrea basal) estandarditzat. Noteu que l'eix de la temperatura està invertit per facilitar la comparació amb el creixement diametral (Jump *et al.*, 2006b).

Aquesta tendència es pot veure incrementada si l'augment d'aridesa es manifesta en episodis de sequera greu, els quals han ocasionat en els darrers anys defoliacions importants en les masses forestals i mortalitats significatives en algunes espècies, com *Pinus sylvestris* o fins i tot *Quercus ilex* (Peñuelas *et al.*, 2001b). Aquests efectes estan mediatitzats per factors que incrementen la vulnerabilitat, com són la menor disponibilitat hídrica en alguns rodals, la seva estructura forestal (densitat d'arbres, àrea basal) o les interaccions amb paràsits (insectes) o hemiparàsits (el vesc, sobretot en coníferes) (Carnicer *et al.*, 2010). El futur d'aquests boscos ve determinat per les espècies que es regeneren després d'aquests episodis, i en alguns casos la manca de plàntules joves de les espècies dominants afectades (com el pi roig) va acompanyada pel reclutament de plàntules d'altres espècies (com les de *Quercus*). Per tant, es donen una sèrie d'elements que suggereixen la possibilitat d'unes transformacions ràpides d'algunes comunitats forestals associades a aquests esdeveniments climàtics

extremes. A més, malgrat que en molts casos la coberta forestal es recupera després d'aquests esdeveniments, el consum dels recursos emmagatzemats (com el midó) manté un important grau de vulnerabilitat de les poblacions si els episodis de sequera esdevenen més freqüents (Lloret *et al.*, 2004a). En l'àmbit de la comunitat, la diversitat d'espècies llenyoses pot tenir un paper significatiu en l'impacte d'aquestes sequeres en la coberta vegetal, particularment als boscos de caire més mediterrani (com pinedes de *Pinus halepensis*), on un major nombre d'espècies incrementaria les probabilitats que alguna resisteixi l'episodi extrem (Lloret *et al.*, 2007).

10.4. Migracions i extincions

Tan aviat com les condicions d'un hàbitat proper esdevenen adients per a una espècie dins de la distància de dispersió de la població més propera, hi pot haver migració mitjançant la colonització del nou hàbitat disponible. En el procés de migració, alguns individus tenen èxit i d'altres no, amb la qual cosa la selecció actua novament d'una manera no aleatòria, tot portant a un augment de la salut de la població establerta respecte de la població inicial migradora. A Catalunya, i en general a tot el planeta, ja s'han constatat mitjançant estudis paleoecològics nombrosos desplaçaments de les àrees de distribució d'algunes espècies i formacions vegetals en resposta a canvis climàtics pretèrits. Però encara no hi ha pas gaires evidències com a resposta a l'escalfament actual (Jump *et al.*, 2009). Cal recordar que aquests processos sovint demanen un temps superior a pocs anys o dècades. De totes maneres, recentment, s'ha comparat la distribució de la vegetació actual del Montseny amb la de principi i meitat del segle xx i s'ha pogut constatar que els ecosistemes mediterranis guanyen terreny als temperats i els temperats als subalpins (figura 9) (Peñuelas i Boada, 2003; Peñuelas *et al.*, 2007a). Les condicions progressivament més càlides i àrides, però també els canvis d'usos del sòl, principalment l'abandonament de la gestió tradicional, com ara la pràctica desaparició dels incendis associats a la ramaderia (ara són prohibits al Parc del Montseny), estan a la base d'aquests canvis, en un exemple paradigmàtic de com interactuen els diferents components del canvi global.

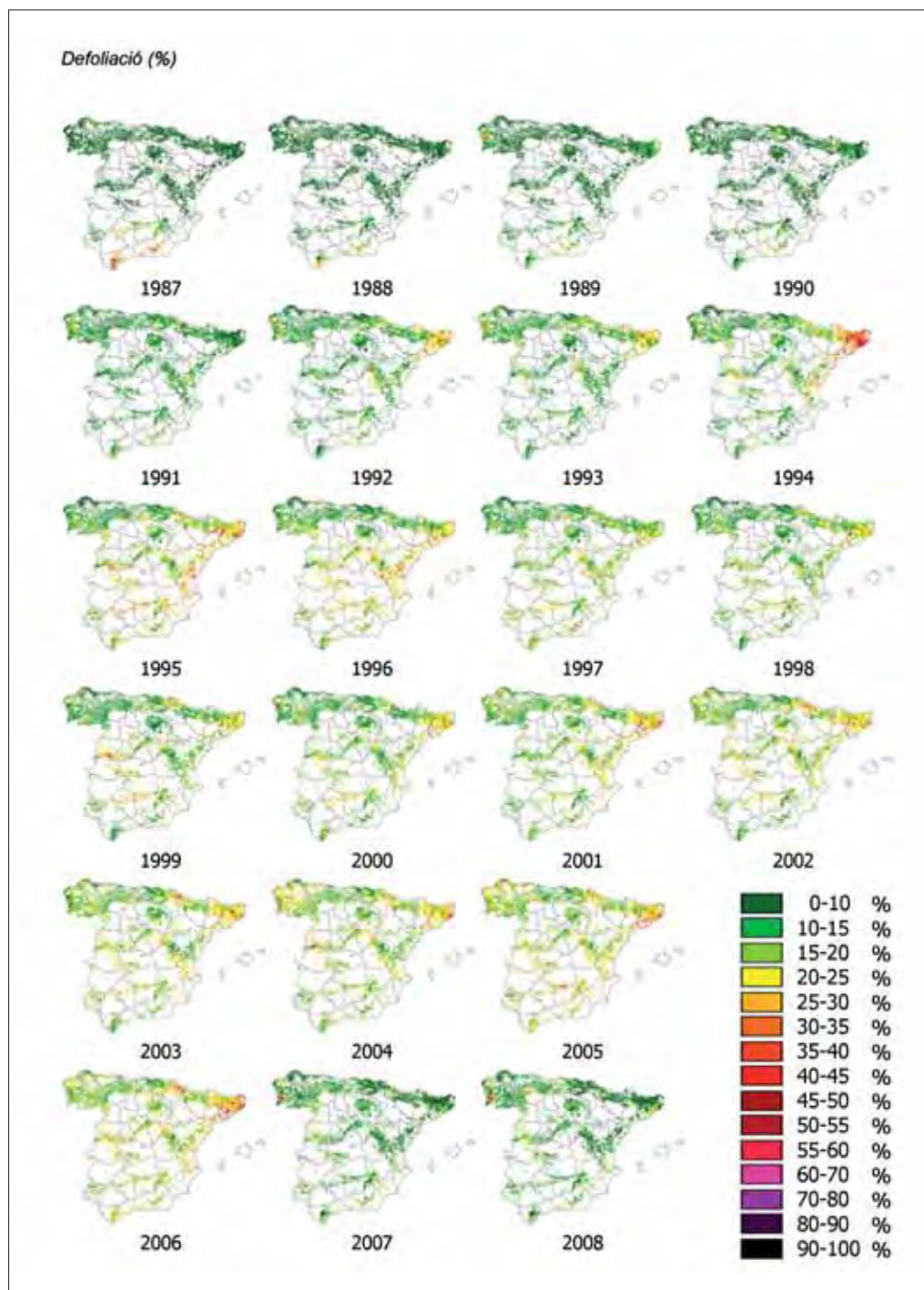


Figura 7a. Defoliació progressiva del conjunt (7a) i de la major part d'espècies forestals espanyoles (7b) durant les tres darreres dècades en paral·lel amb els períodes de sequera.
Font: De Carnicer et al., 2010.

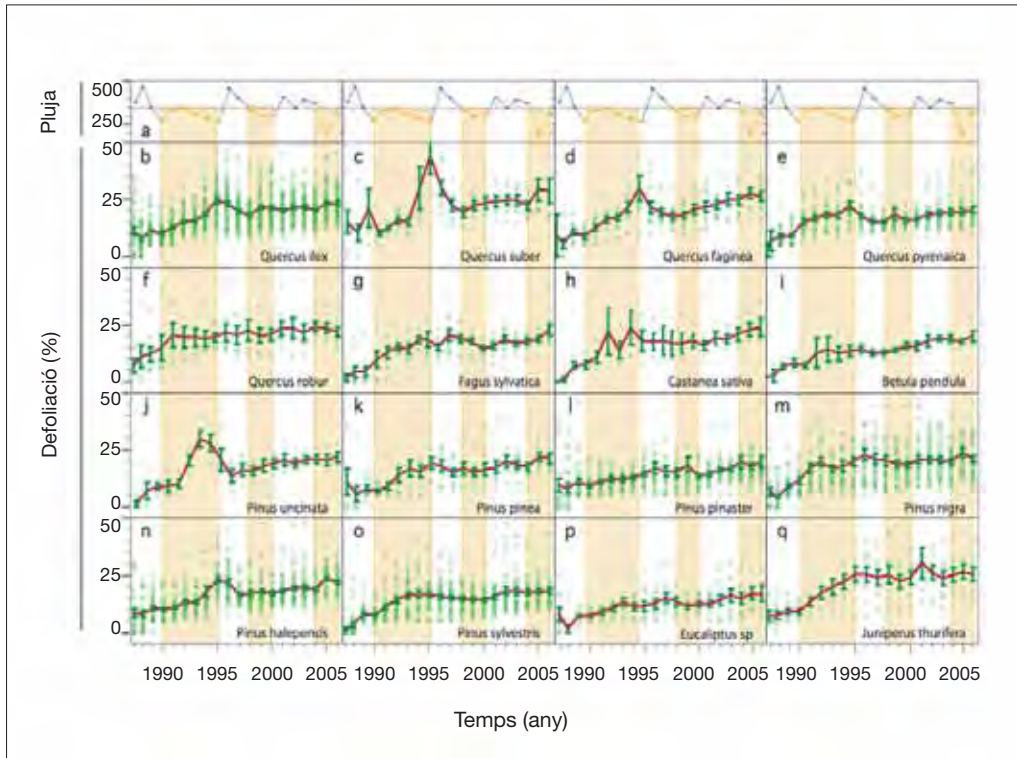


Figura 7b.

Els estudis paleoecològics suggereixen que moltes espècies vegetals poden migrar amb suficient rapidesa com per adaptar-se al canvi climàtic, però solament si existeixen ecosistemes contigus no pertorbats, la qual cosa ens recorda la importància de la fragmentació dels ecosistemes naturals com un altre factor del canvi global. I la fragmentació és elevada a moltes contrades del nostre país. Només cal observar una foto aèria de les comarques centrals de Catalunya. Pel que fa a les muntanyes, la migració cap a altituds més elevades comporta una reducció concomitant en l'àrea total de cada hàbitat, per la qual cosa les espècies amb una exigència més gran d'àrea poden extingir-se. Es parla de «l'ascensor cap a l'extinció».

Aquests efectes de l'escalfament no ens han d'estranyar, perquè és ben conegut que els règims climàtics determinen la distribució de les espècies i dels biomes a través dels llindars específics de cada espècie pel que fa a la tempera-

tura i la disponibilitat d'aigua. I tot això no només fa referència a les plantes, els animals no hi són pas menys sensibles. Al contrari, hi responen més ràpidament, atesa la seva mobilitat. S'han documentat força desplaçaments d'espècies animals relacionats amb el clima, per exemple desplaçaments latitudinals cap al Nord de, per exemple, odonats o de papallones com l'*Heodes tityrus* (Parmesan *et al.*, 1999).

10.5. Canvis en diversitat, biogeoquímica i funcionament

Com que no totes les espècies resulten igualment afectades pel canvi climàtic, hi pot haver un canvi en la composició específica de les comunitats dels nostres ecosistemes. De fet en un experiment dut a terme durant els darrers 10 anys a les brolles del Garraf, s'ha vist que la sequera i l'escalfament fan disminuir la seva riquesa d'espècies no tan sols de plantes (figura 10) (Prieto *et al.*, 2009a) i d'animals, sinó també

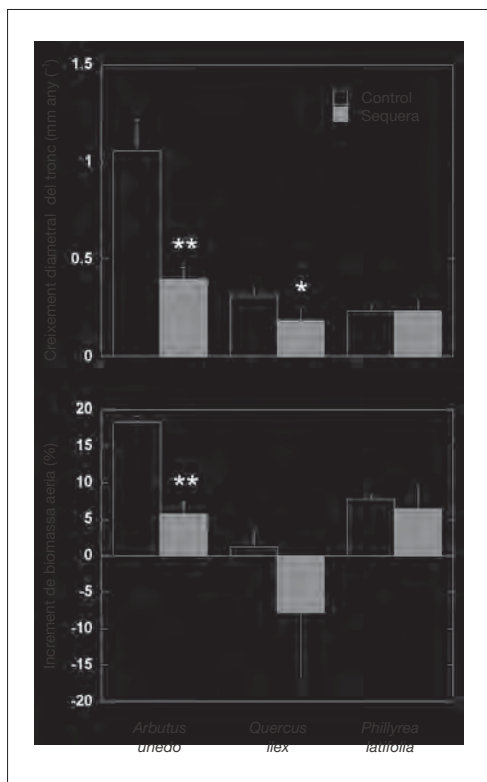


Figura 8. Diferent resposta a la sequera (disminució del 15% de la humitat del sòl) en les tres espècies dominants de l'alzinar de Prades.

Font: D'Ogaya i Peñuelas, 2007.

de bacteris i fongs (figura 11) (Curiel *et al.*, 2010). Els 10 anys de tractament de sequera han exercit un efecte negatiu sobre la diversitat bacteriana tant a l'alzinar de Prades com a les brolles del Garraf. Els canvis han estat menys significatius en la diversitat de fongs, la qual cosa indica que la comunitat fúngica podria ser més resistent als canvis induïts pel clima. Aquesta disminució de la diversitat bacteriana i fúngica s'associa a una disminució en la descomposició de la matèria orgànica i també de la seva capacitat de resposta a la temperatura (Curiel *et al.*, 2010).

De fet, tots aquests canvis estructurals i funcionals resulten en grans canvis biogeoquímics. Per exemple, la sequera experimental esmentada del 15% de disminució d'aigua al sòl està fent minvar el fòsfor acumulat als teixits vegetals als



Figura 9. Desplaçament altitudinal de la fageda del Montseny a la carena Turó de l'Home-Les Agudes durant el darrer segle. La fageda ha esdevingut més densa a les parts altes i s'ha desplaçat per sobre la línia d'arbres amb l'establiment d'individus nous i vigorosos. Les condicions progressivament més càlides i àrides, però també els canvis d'usos del sòl, principalment l'abandonament de la gestió tradicional, com ara la pràctica desaparició dels incendis associats a la ramaderia (ara són prohibits al parc del Montseny), són a la base d'aquests canvis.

Font: Peñuelas *et al.*, 2007a.

bosc de Prades (figura 12) (Sardans *et al.*, 2007a). També disminueix l'activitat enzimàtica del sòl (Sardans i Peñuelas, 2005, 2008a), tot produint un augment de les formes no disponibles per a les plantes de fòsfor (Sardans i Peñuelas, 2004), i canvis en les proporcions de carboni, nitrogen i fòsfor en la biomassa aèria (Sardans i Peñuelas, 2007; Sardans *et al.*, 2008b). D'altra banda, la disminució del 19% de la humitat del sòl a les brolles del Garraf fa disminuir les emissions de gasos com ara el CO₂ o el N₂O

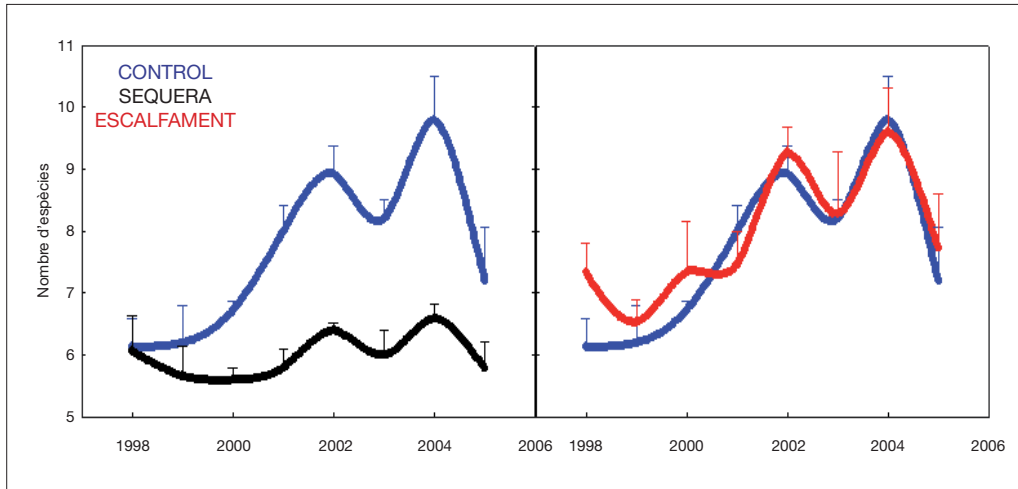


Figura 10. Menor nombre d'espècies en parcel·les amb sequera (19% menys d'aigua al sòl) que en parcel·les control i parcel·les amb escalfament (1 °C més que a les de control) a les brolles del Garraf, tot mostrant un alentiment en el procés de successió secundària post-incendi de brolla a pineda causat per la sequera projectada a les nostres contrades per a les properes dècades.

Font: De Prieto et al., 2009.

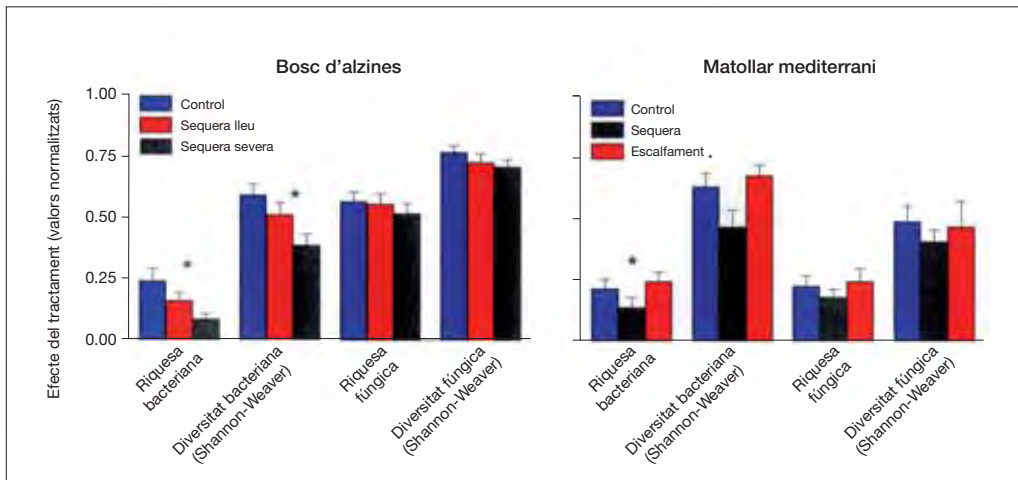


Fig. 11. Efectes de la sequera (19% menys d'aigua al sòl del matollar i 10-20% menys d'aigua al sòl del bosc) i l'escalfament (1°C més que a control) sobre la diversitat bacteriana i fúngica dels sòls mediterranis.

Font: De Curiel et al., 2010.

(figura 13), i semblantment al que s'ha observat a Prades, produeix una disminució de l'activitat enzimàtica del sòl (Sardans et al., 2006, 2008c) i de les arrels (Sardans et al., 2007b), tot disminuint també el fòsfor acumulat als teixits d'algunes espècies (Sardans et al., 2008d) i canviant les pro-

porcions de carboni, nitrogen i fòsfor a la biomassa aèria (Sardans et al., 2008e). Aquests canvis estequiomètrics tenen una influència molt significativa sobre el funcionament dels ecosistemes i fins i tot en les mides dels organismes dels diversos nivells tròfics (Peñuelas i Sardans, 2009).

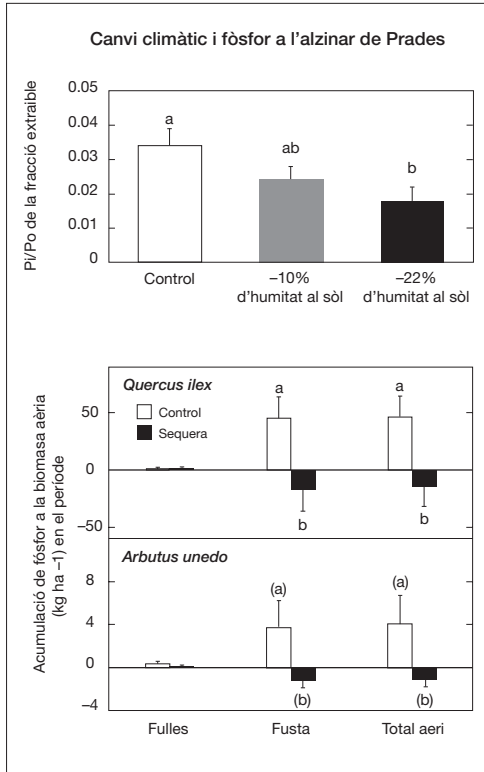


Fig. 12. Disminució de la disponibilitat de fòsfor soluble al sòl i disminució de l'acumulació de P a la biomassa vegetal d'un bosc mediterrani (Prades) en resposta a una sequera experimental (15% disminució de l'aigua al sòl).

Font: De Sardans i Peñuelas, 2007.

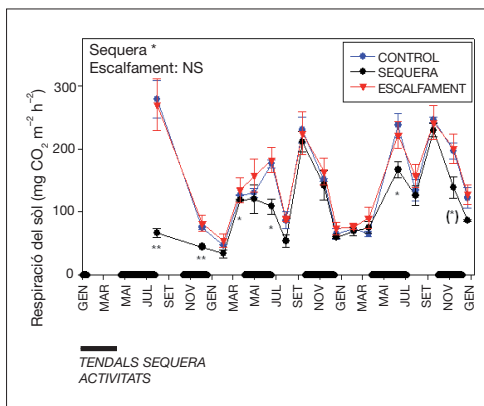


Fig. 13. Canvis en la respiració del sòl en resposta a la sequera en parcel·les de brolles mediterrànies del Garraf sotmeses a 1°C d'escalfament o a una disminució de la humitat del sòl del 19%.

Font: De Estiarte et al., 2010.

10.6. Altres canvis observats als nostres ecosistemes en relació amb el canvi climàtic

Els ecosistemes terrestres catalans presenten una gran variabilitat climàtica, una important complexitat topogràfica, uns marcats gradients en els usos del sòl i en la disponibilitat d'aigua, i una gran biodiversitat. Segurament per tot això són especialment sensibles als canvis atmosfèrics i climàtics i, és clar, també als canvis en usos del sòl, demogràfics i econòmics. Els impactes i les vulnerabilitats són diferents en ambients com la muntanya o les planes litorals, per causes específiques com la innivació o la pujada del nivell del mar. A més, Catalunya té diversos tipus de clima, fet que suposa regions on els impactes i les vulnerabilitats seran diferents.

El canvi climàtic augmenta l'estress hídric de la nostra vegetació, la qual sovint ja viu al límit de les seves possibilitats, com en el cas d'alguns alzinars i pinedes que presenten taxes d'evapotranspiració quasi iguals a les de precipitació (90% al bosc de Prades, per exemple). A més a més d'accentuar la poca disponibilitat d'aigua, l'escalfament accentua altres trets característics dels nostres ecosistemes, com ara els incendis forestals o l'emissió de compostos orgànics volàtils.

Més sequeres greus. Els models GCM preveuen per al nostre país un augment de la freqüència i intensitat dels períodes de sequera. Dels efectes de períodes càlids i/o secs, en tenim exemples recents en els calorosos i secs 1986, 1994, 2003 i 2005. Cada un d'aquests episodis va afectar profundament la vegetació mediterrània. Només cal observar els mapes de defoliació de la figura 7 per adonar-se'n. Per exemple, el que hem estudiat més a bastament, el del 1994, va danyar greument molts boscos i matollars de la península ibèrica (80% de les 190 localitats peninsulars estudiades presentaven espècies danyades) (Peñuelas et al., 2001a, Carnicer et al., 2010). Les alzines, per exemple, es van assecar en moltes localitats de Catalunya. Estudis isotòpics amb ¹³C i ¹⁵N (Peñuelas et al., 2000) van mostrar que durant els anys posteriors aquests alzinars van romandre afectats, de manera que van presentar un menor ús de l'aigua que tenien disponible, i es va afavorir la pèrdua dels nutrients del sòl, una conseqüència secundària greu tenint en compte que aquests ecosistemes solen

ser limitats pels nutrients (principalment fòsfor als sòls calcaris i nitrogen als silícics). La distinta gravetat dels efectes sobre els boscos del país va venir donada, entre altres factors, per: 1) l'orientació dels vessants (més afectació als solells), 2) la litologia del sòl (menor afectació als sòls profunds i penetrables per les arrels, com per exemple els esquists), 3) l'espècie dominant (més afectació d'alzines que de falsos aladerns, que creixen menys, però són més resistents a l'embolisme, més eficients en l'ús de l'aigua i dissipen millor l'excés d'energia), i 4) la gestió forestal (boscos aclarits menys afectats que els densos) (Peñuelas *et al.*, 2000, Carnicer *et al.*, 2010).

El grau d'afectació també fou diferent depenent del tipus funcional i de la història evolutiva de les distintes espècies. Els gèneres mediterranis, *Lavandula*, *Erica*, *Genista*, *Cistus* i *Rosmarinus*, majoritàriament arbustius i evolucionats sota les condicions climàtiques mediterrànies, és a dir, posteriorment als 3,2 milions d'anys del pliocè, foren aparentment més afectats per la sequera que no els gèneres evolucionats amb anterioritat: *Pistacia*, *Olea*, *Juniperus*, *Pinus* i *Quercus*, majoritàriament arbres (Peñuelas *et al.*, 2001b). Tot i això, els gèneres mediterranis es recuperaren molt millor després d'uns anys de més disponibilitat hídrica. Els gèneres mediterranis postpliocè semblen més adaptats per respondre a un ambient no fàcilment previsible, amb una gran variabilitat estacional i interanual i subjecta a perturbacions freqüents. De fet, això té relació amb la fondària de les arrels. Si els eixuts afecten les reserves profundes, els arbres no es recuperen, perquè la seva estratègia passa per tenir aigua tot l'any, mentre que les altres espècies ja estan adaptades a passar èpoques sense aigua. Entendre aquestes respostes és important per preveure la futura composició de les comunitats si continua el canvi climàtic.

Més incendis. Aquestes condicions més càlides i més àrides, juntament amb altres fenòmens relacionats amb el canvi global, com l'increment de biomassa i d'inflamabilitat associat a l'augment del CO₂, i els canvis en els usos del sòl, com ara l'abandonament de terres de cultiu seguit d'un procés d'aforestació i acumulació de combustible, augmenten la freqüència i la intensitat dels incendis forestals. Els boscos i matollars mediterranis,

caracteritzats per un fort eixut estival, són ecosistemes propensos als incendis. Ara bé, per tal que es produeixin els incendis, hi ha d'haver un punt d'ignició. Actualment a Catalunya només un 7% dels focs tenen un origen natural i la immensa majoria d'ignicions són provocades per les activitats humanes, sigui per negligència, accident o intencionadament. Els incendis, que han augmentat al llarg del segle xx (Piñol *et al.*, 1998), ara ja constitueixen una de les perturbacions més importants en els ecosistemes mediterranis. A més, les noves condicions climàtiques podrien incrementar el risc climàtic d'incendi en àrees on fins ara aquest risc és relativament reduït (per exemple zones de muntanya dels Pirineus) i on la vegetació no presenta una capacitat de regenerar-se tan efectiva com en comunitats típicament mediterrànies (Lloret *et al.*, 2005). A més, d'una manera general podem dir que el previsible increment de l'aridesa limitaria la recuperació de la vegetació després dels incendis, la qual cosa deixaria l'ecosistema més vulnerable a l'erosió, particularment si el règim de precipitacions esdevé més torrencial. De fet, l'augment de perturbacions per foc pot ser un factor de modificació del paisatge més fort, efectiu i ràpid que no el mateix canvi climàtic, especialment perquè l'increment de la freqüència dels incendis dificulta la regeneració. La vegetació es regenera bé després d'un foc, però si hi ha un segon foc ja ho fa molt pitjor (Díaz-Delgado *et al.*, 2002).

Més emissió de compostos orgànics volàtils

L'augment de temperatura té molts altres efectes directes sobre l'activitat dels organismes vius. Un d'important ambientalment és l'augment exponencial de l'emissió biogènica de compostos orgànics volàtils (COVB). Aquestes emissions biogèniques de COV afecten la química atmosfèrica, no solament pel que fa al cicle del carboni (emissions globals d'unes 1.500 Tg C any⁻¹) o la formació d'aerosols, sinó pel seu paper en l'equilibri oxidatiu de l'aire (nivells d'OH, NO_x, O₃,...) (Peñuelas i Llusà, 2003; Peñuelas i Staudt, 2010). Les emissions resulten de la difusió dels COVB en un gradient de pressió de vapor des de les altes concentracions als teixits on es produeixen fins a l'aire circumdant, on les concentracions són baixes com a conseqüència de la gran reactivitat dels COVB. Per tant, les emissions són controlades pels

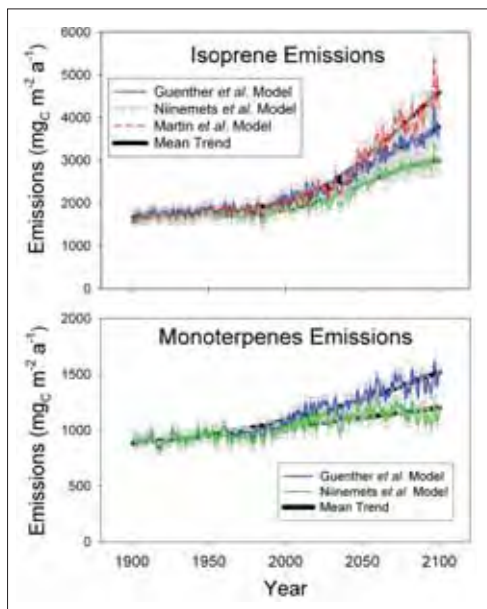


Fig. 14. Estimació de les emissions d'isoprè i monoterpens a Europa des del 1900 i fins el 2100 en funció de les projeccions climàtiques basades en l'escenari climàtic A2 (IPCC 2007a)
Font: De Keenan et al., 2009.

factores que alteren la concentració tissular, la pressió de vapor o la resistència a la difusió cap a l'atmosfera. La temperatura incrementa exponencialment l'emissió d'aquests COVB en activar-ne la síntesi enzimàtica i la pressió de vapor i en disminuir la resistència a l'emissió. D'altra banda, la sequera extrema redueix les emissions com a conseqüència de la manca de carbohidrats i ATP, i de la disminució de la permeabilitat de la cutícula a l'intercanvi gasós. Per tant, caldrà veure quin és el resultat final d'aquest antagonisme entre escalfament i sequera en quelcom tan important ambientalment com és l'emissió biogènica de COV. De moment, però, tot indica que les emissions han augmentat amb l'escalfament (Peñuelas, 2008; Peñuelas i Staudt, 2010) i que ho continuaran fent les properes dècades (Keenan et al., 2009) (figura 14). I aquest augment ha de tenir efectes molt importants, tant sobre el funcionament dels organismes i dels ecosistemes com sobre la química atmosfèrica i el clima (figura 15).

Vinculada amb el canvi climàtic, una de les funcions més importants que semblen tenir alguns d'aquests COVB, com ara els terpens, en la

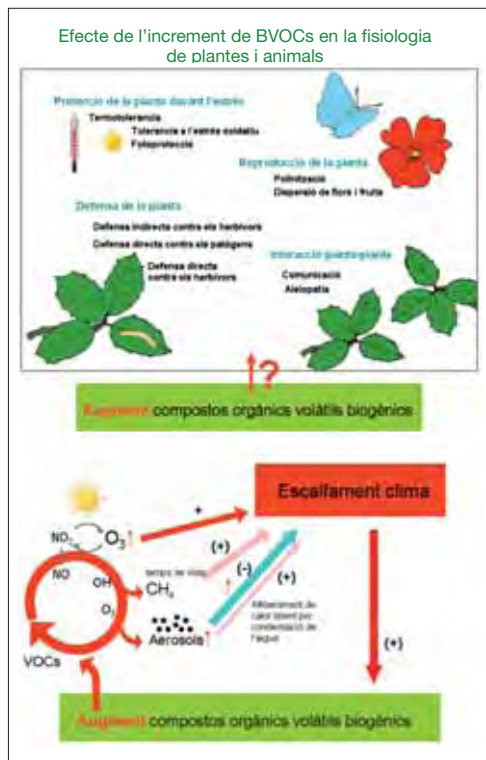


Fig. 15. Efectes ecològics i ambientals de l'augment d'emissions biogèniques de COVB.

Font: De Peñuelas i Staudt, 2010.

fisiologia vegetal, és actuar com a elements termoprotectors. Les plantes emprarien aquests compostos com a estabilitzadors de les membranes cel·lulars i, més concretament, de les membranes íntimament relacionades amb els fotosistemes, i també com a desactivadors dels radicals oxidats per protegir-se de les altes temperatures de l'estiu (Peñuelas i Llusà, 2004). Però a més a més de «refrigerar» la planta, aquestes emissions de COVB podrien retroalimentar negativament l'escalfament del mateix clima atmosfèric, en actuar com a aerosols que fan disminuir la irradiància. Caldrà estudiar-ho, perquè també podrien retroalimentar positivament l'escalfament a través del seu efecte d'hivernacle directe, en absorbir la radiació infraroja, i indirecte, en allargar la vida mitjana del metà i altres gasos hivernacle (Peñuelas i Llusà, 2003). Som davant d'un exemple més de l'important paper que tenen els ecosistemes sobre el mateix clima i el possible

canvi climàtic, a part del més conegut i important efecte sobre el balanç del CO₂ a l'atmosfera.

10.7. Efectes directes de l'augment de CO₂ sobre els ecosistemes

De fet, tots aquests factors ara comentats: disponibilitat d'aigua, temperatura, incendis, COVB i nutrients, interaccionen amb el factor generador del canvi climàtic, el mateix augment de CO₂ atmosfèric, el qual, a més a més, té efectes directes sobre els organismes, sobretot vegetals que l'usen com a substrat de la fotosíntesi, i ecosistemes (Peñuelas, 1993; Korner, 2006).

Aquests efectes s'han estudiat en plantes creixudes a diferents concentracions de CO₂ en diversos sistemes experimentals, que van des de cambres controlades fins a sistemes de fumigació a l'aire lliure, tot passant per hivernacles i fonts naturals de CO₂. La majoria d'espècies estudiades amb concentracions creixents de CO₂ han mostrat taxes fotosintètiques més altes, més productivitat i menors concentracions tissulars de nitrogen, si més no en els estudis duts a terme a curt termini i amb plantes joves (Peñuelas *et al.*, 1995; Lopez-Claramunt *et al.*, 1997). També redueixen la transpiració (menor conductància estomàtica i de vegades menor nombre d'estomes) i augmenten així l'eficiència d'ús de l'aigua, entesa com els grams de biomassa assimilats per gram d'aigua transpirada. L'efecte últim de l'augment de CO₂, però, depèn de la interacció amb altres factors ambientals: temperatura, radiació, sequera, disponibilitat de nutrients o presència de contaminants atmosfèrics (Peñuelas, 1993; Korner, 2006). Per exemple, els efectes hídrics semblen més accentuats a les nostres condicions de sequera mediterrània que no pas a les pròpies del centre i el nord d'Europa, o els efectes de l'ozó vénen moderats pel tancament estomàtic produït pel CO₂. Les respostes al CO₂ són diferents depenent de les espècies (Peñuelas *et al.*, 2001b), i àdhuc dels genotips (Castells *et al.*, 2002), la qual cosa podria dur també a canvis quant a comunitat, a mesura que aquest gas augmenta.

De totes maneres, no queda clar què pot passar a llarg termini i en les complexes condicions dels ecosistemes. Cal ser prudents en l'extrapolació a partir d'experiments que han estat majoritàriament duts a terme en condicions molt con-

trolades, amb plantes aïllades, joves i a curt termini. Per exemple, aquestes respostes podrien amortir-se amb el temps. En algunes plantes hi ha hagut aclimatació de la fotosíntesi o han desaparegut les reduccions en les concentracions d'elements, com el N, després de sis anys de creixement amb un alt CO₂ (Peñuelas *et al.*, 1997). Tampoc no hi ha una resposta única entre les espècies pel que fa a la química foliar (Peñuelas *et al.*, 2001b). Tot i això, d'altra banda, la vegetació actual sembla que presenta més eficiència en l'ús de l'aigua i menys concentració de nitrogen i altres elements diferents del carboni respecte de la vegetació de fa uns decennis, tal com han posat de manifest els estudis morfològics, químics i isotòpics dels espècimens d'herbari (Peñuelas i Matamala, 1990; Peñuelas i Azcon-Bieto, 1992) i dels anells dels arbres (Peñuelas *et al.*, 2008) de Catalunya. Aquests estudis isotòpics indiquen també que els ecosistemes mediterranis podrien respondre a la major demanda de N tot disminuint-ne les pèrdues, incrementant-ne la fixació i aprofitant la creixent fixació i deposició antropogènica (Peñuelas i Filella, 2001b).

10.8. El futur dels nostres ecosistemes terrestres davant el canvi climàtic previst per a les properes dècades

Entre els ecosistemes terrestres del país, els boscos i matollars s'han estès les darreres dècades com a resultat de l'augment de temperatura, de l'augment de CO₂, i/o de l'augment de fertilitzants a l'ambient (eutrofització), però sobretot com a resultat de dos processos d'origen antròpic: la successió secundària a partir de pastures i camps de conreu abandonats, i la superposició d'impactes regressius sobre els ecosistemes terrestres. De fet, aquests ecosistemes terrestres actualment són en una part important resultat de l'activitat humana. Els diversos usos humans han produït un mosaic d'ecosistemes amb diferents graus de maduresa, i han format paisatges heterogenis que garanteixen el manteniment de la diversitat d'aquestes regions mediterrànies. La majoria d'aquests ecosistemes mostren una gran resiliència a les pertorbacions i usualment es recuperen per un procés d'autosuccessió.

La disponibilitat hídrica és el factor crític en l'efecte del canvi climàtic sobre aquests ecosiste-

mes terrestres. En efecte, tant l'allargament de la vida de les fulles dels caducifolis descrita en els apartats anteriors, com l'acceleració de la renovació de les fulles dels perennifolis (Sabaté *et al.*, 2002), fenòmens associats a l'increment de la temperatura, comportaran un augment de l'aigua transpirada que s'afegeix a una major evaporació potencial resultant de l'augment de la temperatura. En aquells llocs on el bosc disposa d'aigua suficient per compensar aquesta demanda hídrica més elevada, cal preveure que hi augmenti la producció forestal (Peñuelas *et al.*, 2009). Ara bé, als llocs amb dèficit hídric, que representen la majoria dels ecosistemes terrestres de Catalunya, s'hi poden esperar canvis importants, que van des de la reducció de la densitat d'arbres fins a canvis en la distribució d'espècies (Gracia *et al.*, 2002). En casos extrems, àrees actualment ocupades per bosc poden ser substituïdes per matollar, i àrees actualment ocupades per matollars poden patir erosió.

Al nostre país es duen a terme estudis experimentals en els quals es manipula experimentalment la temperatura i la disponibilitat d'aigua de l'ecosistema per estudiar els canvis funcionals i estructurals que resultarien en les properes dècades si es complissin les previsions dels models climàtics d'un augment de la temperatura i d'un eixut creixent al sud d'Europa. Entre els ecosistemes terrestres, els boscos i els matollars mediterranis, que són els que més abunden al nostre país, també són, segurament per això mateix, els més estudiats pel que fa al canvi climàtic projectat per als propers anys.

10.8.1. Boscos

Com hem repetit, la disponibilitat hídrica constitueix un dels factors més determinants del creixement i la distribució de les espècies vegetals mediterrànies. Els models de canvi climàtic preveuen un augment de la temperatura a les zones de clima mediterrani com la nostra, la qual cosa implicaria un augment en l'evapotranspiració que, segons els mateixos models, no aniria acompanyada d'un augment en les precipitacions. Per tant, la disponibilitat hídrica dels boscos mediterranis podria disminuir en les properes dècades, encara més del que ho ha fet en les darreres.

Per estudiar els efectes d'una disminució en la disponibilitat hídrica en ecosistemes forestals mediterranis, s'està fent un experiment a l'alzinar de la Solana dels Torners (serra de Prades) des de ja fa 11 anys, tal com s'ha esmentat més amunt. Es tracta d'un bosc d'uns sis metres d'alçada i una densitat mitjana de 16.617 peus ha⁻¹, dominat per *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia* i *Arbutus unedo*. L'experiment consisteix en l'exclusió parcial de l'aigua de pluja i de l'escorrentia superficial, amb la qual cosa s'assoleix una disminució d'un 15% de la humitat del sòl. Aquesta disminució alenteix els cicles de l'aigua, del C, del N i del P, i afecta l'ecofisiologia i demografia de les espècies. De fet, ve a corroborar estudis anteriors als mateixos boscos de Prades en què en uns experiments de fertilització i irrigació es va comprovar que l'aigua va afectar el creixement diametral, i el nitrogen va afectar la dinàmica foliar (Sabaté i Gracia, 1994; Rodà *et al.*, 1999). El tractament de sequera actual ha reduït el creixement diametral dels troncs un 22%, però no totes les espècies són afectades per un igual. Algunes hi resulten bastant sensibles, com *Arbutus unedo* i *Quercus ilex*, que mostren reduccions en el seu creixement diametral al voltant del 50%, mentre que d'altres, com *Phillyrea latifolia*, no experimentarien cap disminució apreciable en el creixement diametral (figura 8). La mortalitat dels individus mostra un patró semblant, ja que *Arbutus unedo* i *Quercus ilex* presenten una mortalitat més elevada que no *Phillyrea latifolia*. En condicions de sequera, l'acumulació de biomassa total aèria del bosc ha minvat un 83% (Ogaya i Peñuelas, 2007).

Per tant, l'experiment posa de manifest que en condicions més àrides que les actuals, els boscos mediterranis poden veure minvar bastant les seves taxes de creixement i, per tant, la seva capacitat per segrestar carboni atmosfèric. A més, com que no totes les espècies vegetals en resultarien igualment afectades, a llarg termini hi podria haver un canvi en la composició específica del bosc, i resultar-ne més afavorides les espècies més resistents a la sequera.

De totes maneres, les prediccions no són mai fàcils, atesa la complexitat de la vida. Els efectes del canvi climàtic es manifesten en la dinàmica de les poblacions vegetals a través de l'establiment de nous individus i de la mortalitat dels

establerts. El balanç entre aquests dos processos ens indica les tendències de les comunitats. En aquest experiment, s'ha estudiat l'aparició i supervivència de noves plàntules d'alzina i fals aladern (*Phillyrea latifolia*), les dues espècies arbòries dominants. Aquestes espècies presenten, al bosc estudiat, estratègies diferents de reclutament: plàntules de rebrot i llavor, respectivament. Els resultats indiquen que l'aparició de noves plàntules de fals aladern està més afectada per la secada que no el creixement de nous rebrots d'alzina. Aquestes diferències, però, desapareixen amb el desenvolupament de les noves plantes, de manera que la supervivència de plàntules i rebrots és semblant pocs anys després (Lloret *et al.*, 2004b). Aquests resultats indiquen que els efectes de la secada són més importants en les fases inicials del desenvolupament. Tanmateix, les diferències entre espècies poden variar segons la fase de desenvolupament: els adults d'alzina semblen menys resistents a la secada que els de fals aladern, però les pautes de reclutament són les contràries. La cosa es complica encara més si considerem que la supervivència de noves plàntules de moltes d'aquestes espècies, com per exemple l'alzina, depenen de trobar condicions en què no quedin excessivament exposades a la radiació, sobretot en els estadis inicials. Si disminueix molt la cobertura arbòria a causa del canvi climàtic, també pot ser que disminueixi la disponibilitat d'àrees on les plàntules es puguin instal·lar.

10.8.2. Matollars

També es duen a terme, com ja hem assenyalat, estudis de les respostes al canvi climàtic previst per a les properes dècades en l'altre gran grup d'ecosistemes terrestres, els matollars. Hi destaca el d'escalfament amb tècniques no intrusives que es du a terme al Garraf des de fa 11 anys. Abans s'havien usat diverses tècniques per manipular la temperatura de l'ecosistema, com radiadors d'infraroig, cables enterrats i hivernacles, però aquests mètodes impliquen pertorbacions no desitjades d'alguns paràmetres físics (llum, vent o humitat relativa) o fins i tot d'una part de l'ecosistema (sòl). Una tècnica menys intrusiva, «l'escalfament nocturn passiu», és el que s'ha emprat a les brolles del Parc Natural del Garraf, on es

manipula la temperatura de l'ecosistema tot evitant aquests inconvenients.

L'escalfament nocturn passiu s'indueix cobrint durant la nit unes parcel·les de l'ecosistema amb tendals fets d'un material refractari a la radiació infraroja. D'aquesta manera queda retinuda una part de l'energia acumulada per l'ecosistema durant el període de llum solar. Amb aquesta metodologia s'augmenta al voltant d'1 °C la temperatura de l'ecosistema (figura 5), però sense alterar altres variables ambientals. La sequera s'indueix amb la mateixa tecnologia però cobrint les parcel·les amb tendals de plàstic impermeable mentre duren les pluges (Beier *et al.*, 2004).

L'experiment de Garraf representa una de les localitats més seques i càlides d'un projecte a escala europea d'estudi dels efectes del canvi climàtic sobre les comunitats arbustives, de manera que s'estudien els efectes del canvi climàtic al llarg d'un gradient latitudinal i climàtic. En aquest gradient, l'escalfament d'1 °C augmenta entre 0-24% la respiració del sòl, mentre que la minva del 19% de l'aigua al sòl la fa disminuir un 12-29%. D'altra banda, la descomposició de la virosta no es veu afectada a llarg termini, tot i que a curt termini la sequera en retarda la descomposició. Al llarg del gradient climàtic només s'observen taxes positives de mineralització del N quan la humitat del sòl és superior al 20%, però està per sota del 60%. És en aquest rang on s'observa una relació positiva amb la temperatura del sòl (Emmet *et al.*, 2004). Així es comprova, doncs, que els canvis de temperatura i d'humitat afecten el desenvolupament de la vegetació i el funcionament dels ecosistemes, per exemple alterant els cicles del carboni o del N o els balanços d'energia (Beier *et al.*, 2004; Emmet *et al.*, 2004; Peñuelas *et al.*, 2004b, 2007b). En el primer *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* vam mostrar un exemple de canvi funcional provocat pel canvi climàtic: els resultats d'estudis experimentals a matollars holandesos on s'observava que l'escalfament augmenta l'alliberament de nitrats als lixiviats del sòl. Aquí mostrem la disminució de l'emissió de CO₂ en resposta a la sequera (figura 13). Recordem que els processos biogeoquímics depenen de la temperatura i que entre aquests podem esmentar un altre que ara preocupa com a component important del canvi global arreu del món i a moltes comarques catalanes

particularment: la progressiva eutrofització, és a dir, l'enriquiment en nutrients, al nostre país sobretot nitrats, en especial a les aigües subterrànies. Aquí va lligada en molts casos a l'excés de purins, però l'augment de temperatura, o les sequeres, no són del tot aliens a aquest fenomen. L'escalfament augmenta la mineralització en les èpoques humides, i la sequera posterior, sobretot als estius, impedeix l'ús de nutrients en les plantes i facilita les pèrdues del sistema quan arriben les pluges. De fet, els resultats d'estudis experimentals en matollars mostren que l'escalfament augmenta l'alliberament de nitrats als lixiviat dels sòls rics en nitrats (Peñuelas *et al.*, 2005). Un altre exemple d'alteració biogeoquímica el tenim en l'estimulació de la descomposició per l'escalfament. La manca d'aigua, en canvi, l'alenteix. Convindrà estudiar el balanç de la interacció d'aquests dos factors sobre el cicle de la matèria i el funcionament dels nostres ecosistemes mediterranis.

Aquests estudis mostren que la magnitud de la resposta a l'escalfament i a la sequera figura a semblar molt diferent depenent de les condicions del lloc d'estudi. Els llocs freds i humits, com són els del nord d'Europa, són més sensibles a l'escalfament, mentre que el nostre país, més càlid i més sec, és més sensible a la sequera. També depèn de l'estació de l'any: els processos són més sensibles a l'escalfament a l'hivern que no pas a l'estiu, i, com passava als boscos, les respostes són també dependents de l'espècie, i fins i tot de l'individu (Peñuelas *et al.*, 2007b). La diferent direcció de la resposta a l'escalfament en funció de l'estació de l'any està relacionada amb l'efecte que el fred hivernal té sobre la fisiologia de les espècies mediterrànies. Per a la nostra sorpresa, els resultats mostren que les condicions d'alta irradiància i relativament baixes temperatures poden afectar l'activitat fotoquímica d'aquestes plantes fins i tot més que no pas l'estrès produït per la sequera estival (Oliveira i Peñuelas, 2002). Per tot això, els efectes del canvi climàtic seran diferents a les diverses àrees climàtiques de Catalunya, amb efectes més importants de l'escalfament a les àrees fredes de muntanya limitades per l'energia, i amb efectes més importants de l'eixut a les àrees més càlides i àrides limitades per la disponibilitat d'aigua.

Els experiments de sequera i escalfament duts a terme al Garraf indiquen que la sequera pre-

vista per als propers anys fa disminuir el nombre i riquesa de plàntules (Lloret *et al.*, 2004c) i finalment la riquesa d'espècies (figura 10-11) (Peñuelas *et al.*, 2007b, Prieto *et al.*, 2009a, Curiel *et al.*, 2010). Aquesta disminució també es dona, però en proporcions molt menors, en el tractament d'escalfament. Aquest efecte es produeix principalment en la germinació, i una vegada la plàntula s'ha establert, la seva supervivència està poc afectada pels tractaments. En general, les espècies que actualment produeixen menys plàntules són les que tindrien més probabilitats de desaparèixer en un escenari climàtic més eixut. Quan les condicions, però, són més extremes, hi ha indicis que la resposta de les espècies pot ésser en alguns casos independent de l'abundància actual de les seves plàntules (Lloret *et al.*, 2004c). En el curs d'aquesta llarga dècada d'estudis al Garraf s'ha pogut comprovar que la sequera alenteix el procés de successió secundària des de matollar a bosc de pins després del darrer incendi del 1994 (figura 16) (Prieto *et al.*,

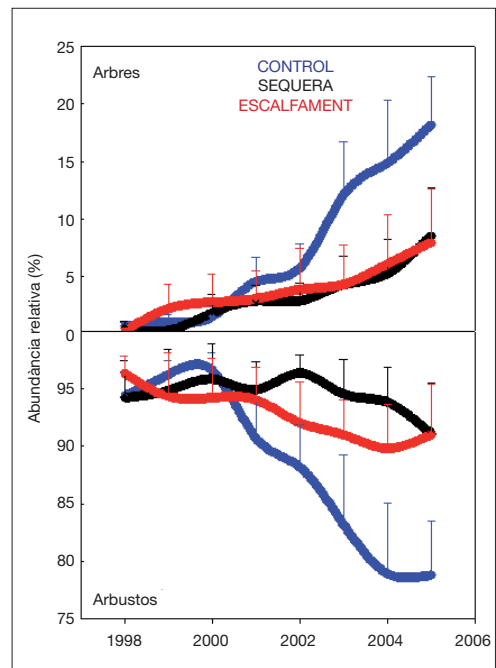


Fig. 16. Alentiment de la successió cap a bosc després d'un incendi en parcel·les de brolles mediterrànies del Garraf sotmeses a 1°C d'escalfament o a una disminució de la humitat del sòl de 19%.

Font: De Prieto *et al.*, 2009.

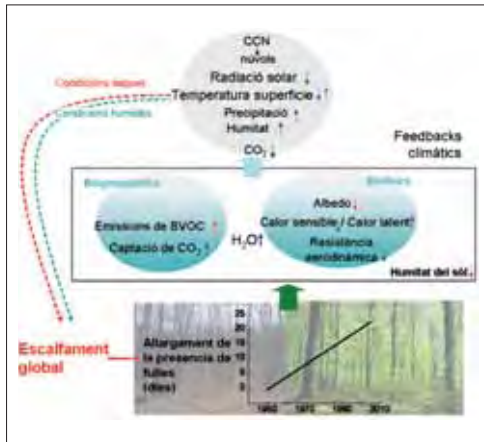


Fig. 17. El canvi de la natura adormida hivernal a la biològicament activa primavera, que es produeix cada vegada més aviat, té efectes biogeoquímics i biofísics sobre el propi clima, la intensitat dels quals s'ha d'escatir. encara.

Font: De Peñuelas et al., 2009.

2009a). Tots aquests estudis suggereixen transformacions importants en la composició de les comunitats vegetals com a conseqüència del canvi climàtic. Aquestes transformacions poden ser ràpides si les fluctuacions interanuals són importants, i si existeixen característiques del medi que determinen llindars de resposta en condicions extremes.

Tota aquesta complexitat no fa gens fàcil predir el sentit i la intensitat de les respostes d'aquests ecosistemes al canvi climàtic, però aquests estudis mostren que hi haurà efectes importants. El que sí és cert, és que en qualsevol cas les prediccions de la condició dels ecosistemes mediterranis en les dècades vinents demanen un millor coneixement de les seves respostes als canvis climàtics i de bones prediccions regionalitzades del clima i dels usos del sòl. Això encara és lluny d'estar disponible a causa de les inherents variabilitat i impredictibilitat del sistema climàtic a nivell regional i en especial a la nostra regió mediterrània. Convindrà també recordar que és molt probable que els canvis i les respostes no siguin simplement lineals. Tampoc no s'ha d'oblidar que la regió mediterrània viu, a més del canvi climàtic i atmosfèric, i tal com ja s'ha assenyalat, l'abandonament de terres de cultiu i la fragmentació dels ecosistemes com dos grans canvis en els usos del sòl. Amb tot això

podem, però, començar a preveure que si les coses continuen com ara, en les properes dècades és fàcil que hi hagi més ecosistemes en estadis successional primers i de menor complexitat ecològica.

I en casos extrems, erosió i desertització

Les disminucions de la productivitat vegetal i de la reproducció en resposta a la sequera (o, en menor grau, a l'escalfament) es tradueixen en una disminució de la matèria orgànica que arriba al sòl, i també del reclutament de noves plantes i del recobriment del sòl, tots fenòmens que produeixen una disminució de la capacitat d'aquest de retenir l'aigua. Si el contingut d'aigua del sòl minva, disminueix la productivitat de la vegetació, i disminueix encara més l'entrada de matèria orgànica, en un cercle viciós que es retroalimenta. Les disminucions de l'aigua del sòl incrementen el risc d'incendi, perquè entre altres coses incrementen les proporcions de parts mortes i seques a les plantes (Prieto *et al.*, 2009b) i les disminucions de la coberta vegetal i de la matèria orgànica del sòl incrementen, a més, el risc d'erosió. De fet, els riscos d'incendi i erosió són els més greus per als matollars mediterranis; el d'erosió especialment a les zones més àrides, les quals, d'altra banda, ja tenen poc per cremar.

Com més àrida és l'àrea considerada, més triga la vegetació a recuperar-se després de sequeres múltiples i prolongades i/o després d'un incendi, tant perquè triga molt a construir nova biomassa com perquè sovint hi té lloc una degradació del sòl, especialment si hi ha sobreexplotació durant els períodes secs o si hi ha recurrencia de focs. I així es facilita l'erosió i, en casos extrems, es pot arribar a la desertització, un problema que ja és present en zones on els sòls dels ecosistemes degradats són incapaces de retenir l'aigua proporcionada per les tempestes ocasionals i extremes de la tardor, les quals provoquen avingudes i més erosió.

A les zones amb terrasses d'origen agrícola, l'erosió és probablement una amenaça menys immediata que en zones similars sense terrasses. Les àrees cremades del sud de Catalunya i, sobretot, de més al sud encara, al País Valencià, són susceptibles de patir erosió perquè en una gran

proporció es localitzen en camps generalment sobre substrats margosos molt sensibles a l'erosió, on la precipitació és minsa (350-600 mm, o menys) i principalment concentrada a la tardor, i on, atès l'ús agrícola previ, hi ha un menor nombre d'espècies rebrotadores. Aquests trets podrien agreujar els efectes directes de la sequera i portar l'ecosistema a condicions més àrides. L'atractiu d'aquests ecosistemes per a activitats recreatives com ara l'observació de la natura o la cacera podria disminuir, i la quantitat de carboni emmagatzemada i absorbida també. O sigui que els béns i serveis d'aquests ecosistemes poden ser alterats profundament.

Els models en l'exploració d'escenaris futurs. Menys aigua

La comprensió d'aquests processos en permet la modelització en funció de les condicions ambientals (Sabaté *et al.*, 2002). Si bé els resultats de les projeccions d'un model cap al futur depenen del mateix model (processos que descriu i segons com ho faci), també depenen dels escenaris de canvi climàtic amb què es confronti el model. És a dir, quan parlem de canvi climàtic, això pot significar moltes coses diferents dins un ventall d'escenaris generats amb criteris i assumpcions de partida distints. En general, podem dir que la majoria dels escenaris de canvi climàtic preveuen un increment de temperatura, i a la zona mediterrània, una disminució de la precipitació, al voltant d'un 5-15% (IPCC, 2007b). Per analitzar els impactes de cada escenari climàtic sobre els ecosistemes, s'ha de descriure acuradament quines són les condicions ambientals de la projecció climàtica futura. Això permet interpretar diferents respostes de l'ecosistema en funció de la combinació de condicions ambientals explorades i a les quals poden quedar exposades els nostres ecosistemes en un futur. Vegeu el capítol 5 d'aquest mateix volum (Gracia *et al.*, 2010) pàgines 135 a 182.

A Catalunya, si es genera un escenari de canvi climàtic assumint un increment gradual de la temperatura de 0,04 °C/any, un increment anual d'un 1% de CO₂ i una disminució de la pluja d'un -0,03% per any, la qual cosa equival a un escenari de tipus mitjà dels previstos de l'IPCC, s'obtenen canvis fenològics que com-

porten importants canvis fisiològics i, en particular, un increment de la transpiració anual. Com a conseqüència, la reserva hídrica als sòls forestals, que actualment és de 32 mm (l/m²) quan es considera la mitjana anual a cada punt, passa a ser de només 24 mm (Peñuelas *et al.*, 2005), la qual cosa representa una disminució del 25% de la reserva hídrica; fet particularment crític en un ambient amb déficit hídric estival com és ara la regió mediterrània. Segons aquests resultats és fàcil comprendre que el paper de molts dels nostres boscos com a embornals de carboni es pot veure seriosament compromès durant les properes dècades. Novament, per a comentaris detallats sobre aquest tema, vegeu el capítol de Gracia *et al.* (2010) en aquest mateix volum suara esmentat.

10.9. Retroalimentacions biològiques sobre el canvi climàtic

Els organismes vius i els ecosistemes no són pas mers objectes passius del canvi climàtic. La seva estructura, la seva activitat i els canvis en ambdues generats pel canvi climàtic tenen, al seu torn, efectes significatius sobre el mateix canvi climàtic, tant per processos biogeoquímics com per processos biofísics. Entre els primers destaquen la fixació de carboni, és a dir, l'actuació com a embornals del CO₂ atmosfèric, i les emissions de compostos orgànics volàtils.

No sabem en quina intensitat els boscos i matollars catalans estan actuant com a captadors i acumuladors de carboni. En aquest balanç intervenen molts processos complexos, sotmesos a moltes interaccions. Tancar aquest balanç al detall no és una tasca fàcil, i menys quan intervenen en l'anàlisi escales de temps i espai diferents. També apareixen incerteses pel que fa a la comprensió de com afecten combinadament les condicions ambientals que interaccionen amb els processos implicats. S'ha avançat molt en aquest àmbit els darrers anys, però encara queda molta recerca per fer. Per exemple, encara no queda clar que l'augment de CO₂ atmosfèric es tradueixi en una major fixació de carboni per les plantes (Peñuelas *et al.*, 2010). Altres factors com la sequera determinen en alguns casos fins i tot minves en la fixació (Ogaya i Peñuelas, 2007). En tot cas, remetem al capítol corresponent

d'aquest volum per a una descripció detallada del tema (Gracia *et al.*, 2010). Pel que fa als COVB, es tracta de compostos orgànics que generen aerosols i nuclis de condensació de núvols, tenen efecte d'hivernacle, allarguen la vida mitjana del CH₄ en consumir radicals hidroxils durant la seva oxidació, alteren la calor de condensació, i amb tot plegat afecten el clima d'una manera i amb una intensitat que encara hem d'escatir, però potencialment ben significativa (Peñuelas i Llusà, 2003; Peñuelas i Staudt, 2010).

Pel que fa als efectes biofísics dels canvis en l'activitat i estructura de la vegetació produïts pel canvi climàtic, semblen especialment importants els que estan vinculats a la proporció entre calor latent i sensible i els relacionats amb l'albedo. Per exemple, els mateixos canvis fenològics en la presència de fulles que hem comentat abans poden tenir uns efectes que no teníem presents, com ara un major segrest de diòxid de carboni i un major consum d'aigua al sòl. A les zones humides, els boscos poden transpirar intensament i acumular molt de vapor i es poden formar núvols que refresquen l'ambient i incrementen les pluges. A les regions mediterrànies, en canvi, durant els períodes de sequera estival, i encara que els arbres rebin molta radiació, no disposen d'aigua suficient per transpirar i, així, refrescar l'ambient o generar aquesta mateixa nuvolositat. El resultat és que el clima d'aquestes àrees encara es fa més càlid. Aquest fenomen sembla haver tingut un paper significatiu en les recents onades de calor, com la del 2003 (Peñuelas *et al.*, 2009). A més, la disminució de l'aigua del sòl abans d'hora afecta, és clar, també el funcionament de la vegetació i, per tant, de l'ecosistema. El fenomen d'una prolongació del període d'activitat dels arbres de fulla caduca pot tenir, doncs, tant efectes de mitigació com d'amplificació del canvi climàtic. Que la balança es decanti cap a un punt o un altre dependrà de la disponibilitat d'aigua i de les característiques particulars de cada regió, i per això cal aprofundir aquesta línia d'investigació amb estudis més quantitius.

10.10. Béns i serveis dels ecosistemes terrestres. Alteració pel canvi climàtic i gestió

Des del punt de vista antròpic, els ecosistemes terrestres són sistemes proveïdors de múltiples

béns i serveis (Rodà *et al.*, 2003): productius, ambientals i socials. En la seva funció productiva, subministren béns naturals renovables, com aliments, medicines, productes de fusta i altres (pastures, suro, pinyes, caça, bolets, etc.). Entre les funcions ambientals i ecològiques, destaquen els serveis ecosistèmics prestats gratuïtament, com el manteniment de la biodiversitat, la regulació de la composició atmosfèrica i del clima, la regulació dels cicles biogeoquímics, la protecció del sòl contra l'erosió, la regulació hidrològica, o l'emmagatzematge de carboni. Entre les funcions socials, les més rellevants són els usos recreatius, educatius i de lleure, les oportunitats per a la recerca, els seus valors tradicionals culturals i emocionals, així com el paisatge agradable, que constitueixen funcions que donen peu a activitats econòmiques importants com el turisme i l'excursionisme. D'entre aquestes funcions i serveis ecosistèmics, interessa especialment l'emmagatzematge de carboni, per les implicacions que té en tots aquests serveis, ja que és la base de la producció vegetal que els sustenta i per les implicacions que té en el balanç de CO₂ atmosfèric, gairebé segur un dels orígens més importants del fenomen que aquí ens ocupa, el canvi climàtic.

En aquest capítol hem vist com els canvis atmosfèrics i climàtics afecten d'una manera important el funcionament i l'estructura dels nostres ecosistemes terrestres, tant pels seus efectes propis com per les seves interaccions. I és important recordar que tots els canvis biològics descrits en aquestes darreres dècades han tingut lloc amb un escalfament que es només un terç o menys del projectat per al segle que ara hem encetat. Està clar que tots aquests canvis tindran un impacte sobre molts d'aquests béns i serveis i, per tant, afectaran els sistemes socioeconòmics (Winnet, 1998; Millenium Ecosystem Assessment, 2005), i també està clar que les influències del canvi climàtic són difícils de destriar de les dels altres components del canvi global, com són els canvis atmosfèrics o els canvis en els usos del sòl.

Per tal de conèixer i gestionar millor en quin grau aniran produint-se aquests i nous canvis, calen més estudis experimentals en condicions al més properes possible a les naturals, i que aprofitin els avenços tecnològics, per exemple

per aplicar-los als estudis del passat remot i proper i a la teledetecció. No cal dir, a més, que s'han de buscar les sinergies pròpies de la multidisciplinarietat. Aquests exemples de treballs que aquí hem presentat resumits pretenen anar en aquesta línia.

Els ecosistemes catalans presenten una extraordinària varietat orgànica en l'espai i el temps, a més d'una important resiliència. Aquesta heterogeneïtat multidimensional i resiliència són el resultat de la coevolució amb els humans i les seves activitats. Els ecosistemes evolucionen constantment, modificats pels focs, els humans i el seu bestiar i les seves eines. I ara, a més, pel canvi climàtic i el canvi global. La dinàmica dels nostres ecosistemes, gairebé tots seminaturals, es pot entendre com una sèrie de degradacions antropogèniques i regeneracions subsegüents. De fet, tant la sobreexplotació com la protecció completa poden dur a estadis inferiors de l'atractiu escènic i de la utilitat econòmica d'aquests ecosistemes terrestres. Les estratègies multiús per a la gestió i rehabilitació dels ecosistemes terrestres mediterranis demanen un gran esforç educatiu, de recerca, governamental i econòmic per continuar gaudint dels seus serveis i per donar esperança al futur desenvolupament d'alguns d'aquests negligits i desolats ecosistemes terrestres, com ara els matollars mediterranis i dels seus recursos en el marc dels canvis actuals de clima i usos del sòl.

En tot cas, la gestió dels ecosistemes terrestres en relació amb el canvi climàtic sembla que hauria de considerar el següent:

— La gestió forestal hauria d'incorporar el canvi de condicions ambientals que estem vivint, per exemple a l'hora de definir les intensitats d'intervenció i la seva freqüència. Per exemple, reduir les densitats de rebrots en boscos d'alta densitat s'ha vist com una manera efectiva de disminuir l'impacte de sequeres extremes.

— En els propers anys, les polítiques de reforestació de zones pertorbades i la gestió de l'«aforestació» d'espais agrícoles abandonats haurien de tenir en compte els canvis que s'estan produint i les condicions que s'estan projectant per al futur immediat. Entre aquestes, hi destaca la d'una disponibilitat hídrica decreixent com a conseqüència tant de la disminució de les preci-

pitacions i/o l'augment de l'evapotranspiració potencial com de la major demanda d'uns ecosistemes més actius i d'una població creixent.

— La gestió dels espais forestals, i dels naturals en general, ha d'incorporar l'escala de paisatge i la regional, en què s'inclougui una planificació a gran escala que consideri la combinació d'espais de tipus divers, així com el seu múltiple ús i l'efecte de les pertorbacions, com per exemple els incendis forestals.

— La política de recerca i inventariat de recursos hauria de fer un esforç en la quantificació del carboni a la biomassa subterrània i als sòls, a més del de la biomassa aèria, ja que aquestes dades són ben escasses i urgentment necessàries.

— Per pal·liar el canvi climàtic per mitjà d'una major captació i menor pèrdua de CO₂, s'hauria d'actuar sobre la reforestació i l'«aforestació», com s'ha assenyalat abans, i, a més, s'hauria d'allargar la immobilització del carboni en els productes forestals i protegir els sòls, però alhora s'haurien de considerar les alteracions que tot això genera en el cicle de l'aigua.

Referències

- ANDREU, L.; PLANELL, O.; GUTIERREZ, E. [et al.] (2008). «Climatic significance of tree-ring width and ¹³C in a Spanish pine forest network». *Tellus B* 60:5, 771-781.
- BEIER, C.; EMMETT, B.; GUNDERSEN, P. [et al.] (2004). «Novel Approaches to study Climate Change effects on terrestrial ecosystems in the field: drought and passive nighttime warming». *Ecosystems*, vol. 7, p. 583-597.
- CANADELL, J.G.; CORINNE, L.E.; QUÉRÉ, MICHAEL, R. [et al.] (2007). «Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks». *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 104 no. 47, p. 18866-18870.
- CARNICER, J.; COLL, M.; NINYEROLA, M.; et al. (2010). Generalized crown condition decline in the Mediterranean basin forests with increased climate-change drought impacts. (En revisió.)
- CASTELLS, E.; ROUMET, C.; ROY, J.; PEÑUELAS, J. (2002). «Intraspecific variability of phenolic concentrations and their responses to elevated CO₂ in two Mediterranean perennial grasses». *Environmental Experimental Botany*, vol. 47, p. 205-216.

- CURIEL J.; PEÑUELAS J.; ESTIARTE, M. [et al.] (2010). Diversity of drought-resistant fungi controls the temperature sensitivity of soil organic matter decomposition. (Per enviar.)
- DÍAZ-DELGADO, R.; LLORET, F.; PONS, X.; TERRADAS, J. (2002). Satellite evidence of decreasing resilience in Mediterranean plant communities after recurrent wildfires. *Ecology* 83:2293-2303.
- EMMET, B.; BEIER, C.; ESTIARTE, M. [et al.] (2004). «The responses of soil processes to climate change: results from manipulation studies across an environmental gradient». *Ecosystems*, vol. 7, p. 625-637.
- ESTIARTE, M.; PEÑUELAS, J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, C.; PÉREZ-OBOL, R. (2008). «Holocene palaeoenvironment in a former coastal lagoon of the arid south eastern Iberian Peninsula: salinization effects on 15N». *Veget Hist Archaeobot*, vol. 17, p. 667-674.
- GARBULSKY M.F.; PEÑUELAS, J.; PAPALE, D.; FILELLA, I. (2008). «Remote estimation of carbon dioxide uptake by a Mediterranean forest». *Global Change Biology*, vol. 14, p. 2860-2867.
- GARBULSKY, M.F.; PEÑUELAS, J.; PAPALE, D. [et al.] (2010). Patterns and controls of the variability of radiation use efficiency and primary productivity across terrestrial ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 19, p. 253-267.
- GRACIA, C.A.; SABATÉ, S.; SÁNCHEZ, A. (2002). «El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo». *Ecosistemas* 2, <http://www.aect.org/ecosistemas/022/investigacion4.htm>
- GRACIA, C.; SABATÉ, S.; VAYREDA, J. [et al.] (2010). «Embornals». A: LLEBOT, J.E. *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*; Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible.
- GROSSMAN, D. (2004). «Pérdida de sincronía en los ecosistemas». *Investigación y Ciencia*, vol. 330, p. 68-76.
- IPCC. (2007a). «Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change». A: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PAULIKOF, J.P. [et al.]. Cambridge: Cambridge University Press.
- (2007b). «Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change». A: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. [et al.]. Cambridge, UK—New York USA: Cambridge University Press, p.996.
- JUMP, A.; HUNT, J.M.; MARTÍNEZ-IZQUIERDO, J. A.; PEÑUELAS, J. (2006a). «Natural selection and climate change: temperature-linked spatial and temporal trends in gene frequency in *Fagus sylvatica*». *Molecular Ecology*, vol. 15, p. 3469-3480.
- JUMP, A.; HUNT, J.; PEÑUELAS, J. (2006b). «Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*». *Global Change Biology*, vol. 12, p. 2163-2174.
- JUMP, A.; PEÑUELAS, J.; RICO, L. [et al.] (2008). «Simulated climate change provokes rapid genetic change in the Mediterranean shrub *Fumana thymifolia*». *Global Change Biology*, vol. 14, p. 637-643.
- JUMP, A.; MATYAS, C.; PEÑUELAS, J. (2009). «The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species». *Trends in Ecology and Evolution* vol. 24, p. 694-701, DOI 10.1016/j.tree.2009.06.007
- KEENAN, T.; NIINEMETS, Ü.; SABATÉ, S. [et al.] (2009). «Process based inventory of isoprenoid emissions from European forests: model comparisons, current knowledge and uncertainties». *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 9, p. 4053-4076.
- KÖRNER, C. (2006). «Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply». *New Phytologist*, vol. 172, p. 393-411.
- LLORET, F.; SISCART, D.; DALMASES, C. (2004a). «Canopy recovery after drought dieback in holm-oak Mediterranean forests of Catalonia (NE Spain)». *Global Change Biology*, vol. 10, p. 2092-2099.
- LLORET, F.; PEÑUELAS, J.; OGAYA, R. (2004b). «Establishment of co-existing Mediterranean tree species under a varying soil moisture regime». *Journal of Vegetation Science*, vol. 15, p. 237-244.
- LLORET, F.; PEÑUELAS J.; ESTIARTE M. (2004c). «Experimental evidence of seedling diversity reduction by climate change in a Mediterranean-type community». *Global Change Biology*, vol. 10, p. 248-258.
- LLORET, F.; ESTEVAN, H.; VAYREDA, J.; TERRADAS, J. (2005). «Fire regenerative syndromes of forest woody species across fire and climatic gradients». *Oecologia*, vol. 146, p. 461-468.
- LLORET, F.; ESTEVAN, H.; LOBO, A. [et al.] (2007). «Woody plant richness and NDVI response to drought event in Catalanian (NE Spain) forests». *Ecology*, vol. 88, p. 2270-2279.
- LÓPEZ-CLARAMUNT, B.; SABATÉ, S.; RUIZ, I.; GRACIA, C. (1997). «Effects of elevated CO₂ and decreased water availability on holm oak seedlings in controlled environment chambers». A: MOHREN, G. M.

- J., KRAMER K., SABATÉ, S. *Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p.125-133.
- MARTÍNEZ-VILALTA, J.; LÓPEZ, B.C.; ADELL, N. [et al.] (2008). «Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate interactions». *Global Change Biology*, vol. 14, p. 2868-2881.
- MENZEL, A.; SPARKS, T.; ESTRELLA, N. [et al.] (2006). «European phenological response to climate change matches the warming pattern». *Global Change Biology*, vol. 12, p. 1969-1976.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). «Ecosystems and human well-being: synthesis». Washington D.C.: Island Press.
- OGAYA, R.; PEÑUELAS, J. (2007). «Tree growth, mortality, and above-ground biomass accumulation in a holm oak forest under a five-year experimental field drought». *Plant Ecology*, vol. 189, p. 291-299.
- OLIVEIRA, G.; PEÑUELAS, J. (2002). «Comparative protective strategies of *Cistus albidus* and *Quercus ilex* facing photoinhibitory winter conditions». *Environmental and Experimental Botany*, vol. 47, p. 281-289.
- PARMESAN, C.; RYRHOLM, N.; STEFANESCU, C. [et al.] (1999). «Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming». *Nature*, vol. 399, p.579-583.
- PEÑUELAS, J. (1993). «El aire de la vida (una introducción a la ecología atmosférica)». Barcelona: Ariel.
- (2001). «Cambios atmosféricos y climáticos y sus consecuencias sobre el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas terrestres mediterráneos». A: *Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional*. Granada: AEET, CSIC Press., p. 423-455.
- (2008). «An increasingly scented world». *New Phytologist*, vol. 180, p. 735-738.
- PEÑUELAS, J.; AZCON-BIETO, J. (1992). «Changes in ¹³C of herbarium plant species during the last 3 centuries of CO₂ increase». *Plant, Cell and Environment*, núm. 15, p. 485-489.
- PEÑUELAS, J.; BIEL, C.; ESTIARTE, M. (1995). «Growth, biomass allocation, and phenology of peppers plants submitted to elevated CO₂ and different nitrogen and water availabilities». *Photosynthetica*, núm. 31(1), p. 91-99.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. (2003). «A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)». *Global Change Biology*, núm. 9, p. 131-140.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. (1998). «Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status». *Trends in Plant Science*, núm. 3, p. 151-156.
- (2001a). «Phenology: Responses to a warming world». *Science*, núm. 294, p. 793-795.
- (2001b). «Herbaria century record of increasing eutrophication in Spanish terrestrial ecosystems». *Global Change Biology*, núm. 7, p. 1-7.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; COMAS, P. (2002). «Changed plant and animal life cycles from 1952-2000». *Global Change Biology*, núm. 8, p. 531-544.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; LLUSIÀ, J. [et al.] (1998). «Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*». *Journal of Experimental Botany*, núm. 49. p. 229-238.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; LLORET, F. [et al.] (2000). «Effects of a severe drought on water and nitrogen use by *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*». *Biologia Plantarum*, vol. 43, vol. 1, p. 47-53.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; SABATE, S.; GRACIA, C. (2005). «Sistemes naturals: ecosistemes terrestres». A: LLEBOT, J.E. (ed). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i CADS, p. 517-553.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; TOGNETTI, R. (2001b). «Leaf mineral concentrations of *Erica arborea*, *Juniperus communis*, and *Myrtus communis* growing in the proximity of a natural CO₂ spring». *Global Change Biology*, núm. 7, p. 291-301.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; ZHANG, X. [et al.] (2004a). «Complex spatio-temporal phenological shifts in as a response to rainfall changes». *New Phytologist*, vol. 161, p. 837-846.
- PEÑUELAS, J.; GORDON, C.; LLORENS, L. [et al.] (2004b). «Non-intrusive field experiments show different plant responses to warming and drought among sites, seasons and species in a North-South European gradient». *Ecosystems*, vol. 7, p. 598-612.
- PEÑUELAS, J.; HUNT, J.; OGAYA, R.; JUMP, A. (2008). «Twentieth century changes of tree-ring ¹³C at the southern range-edge of *Fagus sylvatica*: increasing water-use efficiency does not avoid the growth decline induced by warming at low altitudes». *Global Change Biology*, vol. 14, p. 1076-1088.
- PEÑUELAS, J.; IDSO, B.; RIBAS, A.; KIMBALL, B.A. (1997). «Effects of long-term atmospheric CO₂ enrichment

- on the mineral concentration of *Citrus aurantium* leaves». *New Phytologist*, núm. 135, p. 439-444.
- PEÑUELAS, J.; LLORET, F.; MONTOYA, R. (2001a). «Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain». *Forest Science*, vol. 47, p. 214-218.
- PEÑUELAS, J.; LLUSIÀ, J. (2003). «BVOCs: Plant defense against climate warming?». *Trends in Plant Science*, núm. 8, p. 105-109.
- (2004). «Plant VOC emissions: making use of the unavoidable». *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 19, p. 402-404.
- PEÑUELAS, J.; MATAMALA, R. (1990). «Changes in N and S leaf content, stomatal density and specific leaf area of 14 plant species during the last three centuries of CO₂ increase». *Journal of Experimental Botany*, núm. 41 (230), p. 1119-1124.
- PEÑUELAS, J.; OGAYA, R.; BOADA, M.; JUMP, A. (2007a). «Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia». *Ecography*, vol. 30, p. 830-838.
- PEÑUELAS, J.; OGAYA, R.; CANADELL, J. (2010). «Metanálisi CO₂ fertilization effect». *Global Ecology and Biogeography* (en premsa).
- PEÑUELAS, J.; PRIETO, P.; BEIER, C. [et al.] (2007b). «Response of plant species richness and primary productivity in shrublands along a north-south gradient in Europe to seven years of experimental warming and drought: reductions in primary productivity in the heat and drought year of 2003». *Global Change Biology*, vol. 13, p. 2563-2581.
- PEÑUELAS, J.; RUTISHAUSER, T.; FILELLA, I. (2009). «Phenology Feedbacks on Climate Change». *Science*, vol. 324, p. 887-888.
- PEÑUELAS, J.; SARDANS, J. (2009). «Elementary factors». *Nature* vol. 460, p. 803-804.
- PEÑUELAS, J.; STAUDT, M. (2010). «Global change-induced alterations in BVOCs and BVOCs-induced alterations in global change». *Trends in Plant Science*, vol. 15, p. 133-144.
- PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LLORET, F. (1998). «Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain». *Climatic Change*, núm. 38, p. 345-357.
- PRIETO, P.; PEÑUELAS, J.; LLORET, F. [et al.] (2009a). «Experimental drought and warming decrease diversity and slow down post-fire succession in a Mediterranean shrubland». *Ecography*, vol. 32, p. 623-636.
- PRIETO, P.; PEÑUELAS, J.; LLUSIÀ, J. [et al.] M. (2009b). «Effects on experimental warming and drought on biomass accumulation in a Mediterranean shrubland». *Plant Ecology*, vol. 205, p. 179-191.
- RODÀ, F.; IBAÑEZ, J.; GRACIA, C. (2003). «Estat dels boscos de Catalunya». A: *Informe sobre l'estat del medi ambient a Catalunya 2001*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient, p. 43-54.
- RODÀ, F.; MAYOR, X.; SABATÉ, S.; DIEGO, V. (1999). «Water and nutrient limitations to primary production». A: RODÀ, F.; RETANA, J.; GRACIA, C.; BELLOT, J. *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*. Berlin: Springer, p. 183-194.
- SABATÉ, S.; GRACIA, C.A. (1994). «Canopy Nutrient Content of a *Quercus ilex* L. Forest: Fertilization and Irrigation effects». *For. Ecol. Mang.*, núm. 68, p. 31-37.
- SABATÉ, S.; GRACIA, C.A.; SÁNCHEZ, A. (2002). «Likely effects of Climate Change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean Region». *Forest Ecol. Manage.*, núm. 162, p. 23-37.
- SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. (2004). «Drought decreases P availability in an evergreen oak Mediterranean forest». *Plant and Soil*, vol. 267, p. 367-377.
- (2005). «Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean holm oak forest». *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 37, p. 455-461.
- (2007). «Drought changes phosphorus and potassium accumulation patterns in an evergreen Mediterranean forest». *Functional Ecology*, vol. 21, p. 191-201.
- SARDANS, J.; PEÑUELAS, J.; ESTIARTE, M. (2006). «Warming and drought alter soil phosphatase activity and soil P availability in a Mediterranean shrubland». *Plant and Soil*, vol. 289, p. 227-238.
- (2007). «Patterns of soil and root-surface phosphatase activities in a Mediterranean shrubland. Effects of experimental drought. Biology and Fertility of Soils». *Biol. Fertil. Soils*, vol. 43, p. 779-786.
- (2008a). «Changes in soil-enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland». *Applied Soil Ecology*, vol. 39, p. 223-235.
- (2008b). «Warming and drought induced different patterns of change of P and K accumulation in biomass and soil in a Mediterranean shrubland». *Plant and Soil*, vol. 306, p. 261-271.

- SARDANS, J.; PEÑUELAS, J.; OGAYA, R. (2008b). «Drought induced changes in C and N stoichiometry in a *Quercus ilex* Mediterranean forest». *Forest Science*, vol. 54, p. 513-522.
- (2008c). «Drought reduced acid and alkaline soil phosphatase activities and increased soil organic extractable P in a *Quercus ilex* Mediterranean forest». *European Journal of Soil Biology*, vol. 44, p. 509-520.
- SARDANS, J.; PEÑUELAS, J.; PRIETO, P.; ESTIARTE, M. (2008e). «Different plant specific and ecosystem patterns responses of C and N accumulation in a Mediterranean shrubland under drought and warming conditions». *Global Change Biology*, vol. 14, p. 2304-2316.
- STEFANESCU, C.; PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. (2003). «The effects of climatic change on the phenology of butterflies in the Northwest Mediterranean Basin». *Global Change Biology*, vol. 9, p. 1494-1506.
- THACKERAY, S.J.; SPARKS, T.H.; FREDERIKSEN, M. [et al.] (2010). «Trophic level imbalances in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments». *Global Change Biology*, en premsa.
- WALTHER, G.R.; POST, E.; CONVEY, P. [et al.] (2002). «Ecological responses to recent climate change». *Nature*, núm. 426, p. 389-395.
- WINNET, S.M. (1998). «Potential effects of climate change on US forests: a review». *Climate Research*, núm. 11, p. 39-49.
- ZHAO, M.S.; RUNNING, S.W. (2010). «Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2009 through 2009». *Science*, vol. 9, p. 940-943.

11. Sistemes naturals i diversitat biològica: sòls

Josep Maria Alcañiz, Jaume Boixadera, Maria Teresa Felipó Josep Oriol Ortiz i Rosa Maria Poch

Josep M. Alcañiz és catedràtic d'Edafologia de la UAB i investigador al CREAM de la UAB. La seva recerca s'ha centrat en l'estudi de la matèria orgànica del sòl, especialment de les substàncies húmiques, i en l'aplicació de residus orgànics per regenerar sòls degradats. Ha treballat en les possibilitats d'aprofitament de fangs de depuradores urbanes o de composts en la rehabilitació de pedreres i terrenys denudats. També ha investigat els riscos de contaminació associats a aquests residus orgànics. Les seves línies de recerca actuals tracten sobre protecció i restauració de sòls, rehabilitació de sòls de pedreres o zones molt degradades; segrest de carboni en el sòl, valorització de biomassa i biocarbó (*biochar*); ecotoxicitat en sòls, i efectes de l'aplicació de residus orgànics sobre els organismes edàfics.

Jaume Boixadera Llobet és enginyer agrònom per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de Lleida i Màster en Ciència del Sòl per la Universitat de Wageningen. És cap del Servei de Producció Agrícola de la Generalitat de Catalunya i professor associat de la Universitat de Lleida. Responsable del mapa de sòls (1/25.000) de Catalunya, ha dirigit diversos treballs de prospecció de sòls i cartografia arreu de Catalunya. A més d'aquesta línia de treball ha participat en projectes sobre gènesi, avaluació de sòls, relació sòl-paisatge, salinitat, erosió i conservació de sòls. En els darrers anys ha centrat bona part de la seva activitat en la gestió dels sòls, el maneig de nutrients, les bones pràctiques agràries i la valorització de materials orgànics com a fertilitzants, tant des del món universitari com de l'Administració. Ha participat en l'elaboració del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012. Forma part de diversos grups d'experts sobre fertilització i cartografia de sòls.

Maria Teresa Felipó Oriol (Manresa, 1947) és doctora en Farmàcia per la Universitat de Barcelona, i des de 1986 és catedràtica d'Edafologia i Química Agrícola del Departament de Productes Naturals, Biologia Vegetal i Edafologia de la mateixa universitat. Participa també en la docència en diversos cursos de postgrau organitzats per altres institucions. Ha realitzat estades postdoctorals en centres de recerca i universitats europees. La recerca realitzada en els darrers anys ha estat orientada en la caracterització de residus orgànics per a la seva valorització en el sòl, l'estudi de determinades interaccions sòls-residus derivades de la reutilització, i en la contaminació de sòls.

Josep Oriol Ortiz i Perpiñà és professor d'Edafologia i Química Agrícola a la Facultat de Bio-ciències de la Universitat Autònoma de Barcelona i investigador del CREAM de la UAB des del 1994. Autor de la tesi doctoral «Activitat biològica i revegetació en sòls de pedreres de calcària

restaurats amb fangs de depuradores». La seva recerca se centra en l'estudi de la dinàmica de la matèria orgànica del sòl, el segrest de carboni al sòl i la restauració de sòls fortament degradats mitjançant l'ús de residus orgànics. Darrerament ha participat també en la implementació d'assajos d'ecotoxicitat basats en la mesura de l'activitat biològica del sòl. És membre de la International Union of Soil Science (IUSS), la Institució Catalana d'Estudis Agraris (ICEA) i la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.

Rosa M. Poch Claret és enginyera agrònoma per la UPC (1987), MSc en Física i Química de Sòls (1989) i PhD en Ciències del Sòl per la Universitat de Gant (Bèlgica, 1992). És professora i investigadora a la Universitat de Lleida i del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (Solsona), on estudia els impactes dels canvis d'ús del sòl en el règim hídic i en l'emmagatzematge de carboni en el sòl, la rehabilitació de sòls afectats per mineria, micromorfologia de sòls aplicada a la gènesi de sòls i a l'arqueologia, i l'ús de mapes de sòls per a l'avaluació de recursos hídrics. És presidenta de la Comissió de Morfologia i Micromorfologia de Sòls de la IUSS. És coordinadora del Màster de Gestió de Sòls i Aigües (UdL-UAB-UB-UPNA). Ha estat professora convidada en les universitats de Gant (Bèlgica), Nacional Agraria (Nicaragua), UC Davis (Califòrnia), Stellenbosch (Sudàfrica) i al CSIRO (Adelaida, Austràlia)..

Resum	413
11.1. El sòl com a reservori de carboni i de nitrogen	417
11.1.1. Quantitat de carboni en els sòls, estat actual dels inventaris de carboni	417
11.1.1.1. Reservori orgànic	417
11.1.1.2. Reservori inorgànic	419
11.1.2. Qualitat del carboni / matèria orgànica	420
11.1.2.1. Carboni làbil	420
11.1.2.2. Carboni recalcitrant (humus, carboni negre, etc.)	421
11.1.2.3. Carboni protegit	421
11.1.3. Factors edàfics que limiten la capacitat de segrest de carboni	422
11.1.3.1. El concepte de saturació de carboni i la seva estimació	422
11.2. Emissions de GEH a partir del sòl. Èmfasi en ambient mediterrani	423
11.2.1. El CO ₂ de la respiració heterotròfica del sòl	423
11.2.2. El CO ₂ de processos inorgànics	424
11.2.3. El metà	425
11.2.4. Emissions nitrogenades	426
11.3. Principals entrades de carboni i de nitrogen al sòl	428
11.3.1. Adobs orgànics	428
11.3.2. Fertilitzants	432
11.3.3. Regatge	432
11.4. Processos de degradació del sòl influïts pel canvi climàtic. Vulnerabilitat.	433
11.4.1. Erosió i desertificació	434
11.4.2. Salinització dels sòls	435
11.4.3. Pèrdua de biodiversitat	437
11.4.4. Pèrdua de matèria orgànica	437
11.5. Canvis d'usos del sòl i efectes sobre el canvi climàtic	439
11.5.1. Transformacions en regadiu	439
11.5.2. Reforestacions	440
11.5.3. Restauracions de terrenys degradats	441

11.6. Principals activitats en el sòl que influeixen en el canvi climàtic	443
11.6.1. Efectes del foc sobre el sòl	443
11.6.2. Reciclatge de residus orgànics (RO): incorporació de carboni i de compostos nitrogenats	443
11.7. Normativa relativa al sòl amb possible incidència sobre el canvi climàtic	447
11.8. Conclusions	458
Abreviatures emprades i acrònims	459
Referències	460

Resum

El sòl és un dels reservoris de carboni més importants de la biosfera, sotmès als efectes del canvi climàtic i, en determinades zones, a processos de degradació (erosió, salinització, pèrdua de matèria orgànica i de biodiversitat, etc).

Prop del 80% dels sòls agrícoles de Catalunya tenen concentracions de carboni (0-30 cm) compreses entre el 0,6 i el 2,3%, i són majors als sòls de regadiu (el 76% de les mostres entre 1,2 i 2,3%). Quant als sòls no agrícoles, si bé hi ha estudis locals, no es disposa d'informació suficient, prou representativa, de tot Catalunya.

Malgrat les limitacions de la informació disponible, els estocs de carboni orgànic als sòls agrícoles de les demarcacions de Lleida i Tarragona se situen al voltant dels 90-100 Mg/ha, considerant una fondària d'un metre, si bé aproximadament la meitat es troba en els primers 30 cm (de 45-56 Mg/ha). Atesa la magnitud d'aquest reservori i la seva posició a la capa superficial del sòl, qualsevol alteració que afavoreixi la seva degradació es pot traduir en emissions importants de CO₂.

L'estoc de carboni inorgànic (carbonats) als sòls del terç sud occidental de Catalunya és molt gran, i s'estima en uns 300 Mg/ha per cada 50 cm de gruix de sòl, sense incloure els carbonats cimentats dels horitzons petrocàlcics. Representa una reserva de carboni molt important, molt estable i encara poc estudiada des de la perspectiva dels efectes del canvi climàtic.

Els compostos orgànics làbils tenen un temps de residència baix al sòl. Per contra, els compostos recalcitrants o estabilitzats contribueixen de manera important al segrest de carboni al sòl a llarg termini. Per tant, en la gestió de la matèria orgànica del sòl i dels adobs orgànics cal considerar, a més de la quantitat, la qualitat del carboni i els procediments emprats per a la seva incorporació al sòl.

Les possibilitats de segrest de carboni orgànic al sòl depenen de la seva capacitat de saturació, que ve determinada per propietats extrínseques (com ara el clima, el maneig del sòl) i intrínseques (textura, estructura del sòl, complexitat bio-

química dels compostos orgànics). Un sòl proper a la seva capacitat de saturació emmagatzemarà poc carboni i lentament, malgrat que s'incrementi la quantitat de matèria orgànica que s'hi incorpora. El canvi climàtic podria modificar la capacitat de saturació de carboni dels sòls.

Les emissions principals de GEH del sòl són les de CO₂ de la respiració, els NO_x, i el CH₄ generat majoritàriament als conreus d'arròs i als aiguamolls. Els fertilitzants acidificants contribueixen a la descarbonatació del sòl i afavoreixen l'alliberament de CO₂ a l'atmosfera. Les emissions de NO_x a partir de fertilitzants nitrogenats o adobs orgànics no solen superar el 3% del N afegit. A Catalunya, les emissions edàfiques de CH₄ són relativament petites i en àrees molt localitzades del territori.

Les principals entrades de carboni al sòl es donen pel retorn de les restes vegetals, incloent-hi les de collita, i els adobs orgànics. Avui a Catalunya, la quantitat global de matèries orgàniques que potencialment es podrien aplicar al sòl és al voltant dels 19.000.000 Mg de matèria humida (fems, gallinassa i purins) i de 173.000 Mg de matèria seca (fangs d'EDAR i compost). Una certa quantitat d'aquestes s'aplica fora de Catalunya o va a plantes de tractament. El compostatge és una de les millors alternatives per reciclar alguns residus orgànics al sòl, per les garanties sanitàries i d'estabilització de la matèria orgànica.

El consum de fertilitzants minerals nitrogenats ha minvat en els darrers anys i s'ha situat per sota dels 50.000 Mg/any, mentre que el d'adobs orgànics s'ha mantingut amb lleugeres oscil·lacions i ha millorat la seva distribució al territori i, per tant, la seva dosificació. Globalment, l'aportació de residus orgànics al sòl representa una incorporació de nitrogen al voltant de 100.000 Mg/any. La fertilització nitrogenada contribueix a augmentar directament i indirecta les emissions de GEH, per bé que també incrementa la producció de biomassa i el segrest de C.

Les conseqüències previstes del canvi climàtic segons l'escenari A2 de l'IPCC (2070-2100) són

la deriva a règims d'humitat i temperatura dels sòls més àrids i més càlids, règims menys percoladors, que implicaran canvis de tipus químic (mobilització de sals), biològic (variacions en el balanç humificació / mineralització, normalment a favor de la segona) i físic (segellament superficial per pèrdua de coberta vegetal, erosió). Alguns d'aquests processos estan identificats en l'Estratègia Temàtica de Protecció de Sòls com els majors problemes de degradació dels sòls d'Europa. A més, el canvi climàtic implica un augment de les necessitats d'aigua i de materials orgànics si es volen mantenir els rendiments agrícoles i els continguts de MO actuals.

L'extensió del regatge s'ha de fer amb criteris de sostenibilitat i d'eficiència per a reduir les necessitats energètiques i els riscos de salinització i erosió. La fertilització hauria de pretendre mantenir o augmentar la matèria orgànica del sòl, per a la qual cosa l'aportació de residus orgànics és una de les millors alternatives, sempre que s'adoptin mesures per a maximitzar els seus beneficis (conreu mínim, aplicació a sòls amb baixa saturació de C, entre d'altres), i mitigar les emissions de GEH. El conjunt de mesures de mitigació de les emissions de GEH basades en el maneig dels cultius i la gestió de les pastures poden ser prou efectives, atesa la importància de la SAU al territori català (35,5%).

La restauració de terrenys degradats per activitats extractives i de zones cremades és una mesura recomanable per a reduir l'erosió i segrestar C, si bé la contribució global d'aquesta mesura a Catalunya serà moderada. La regeneració dels boscos en bancals de conreu abandonats (més de 50 anys) a zones de muntanya humida a Catalunya ha permès la recuperació progressiva de gairebé la meitat de la reserva original de carboni al sòl, si bé en el context actual la superfície de conreus que es podria recomanar abandonar no és gaire elevada. Per altra part, l'augment de la superfície forestal fa més vulnerable el carboni fixat a la biomassa, per increment del risc d'incendis forestals en el context del CC.

El reciclatge d'un residu orgànic depèn de les seves característiques intrínseques i aquestes són les que s'han de considerar per a decidir l'opció de valorització al sòl o com a font d'energia. Per a reciclar-los al sòl, cal considerar-ne la compo-

sició i propietats i, eventualment, els tractaments soferts, ja que condicionen molt el seu comportament. Atesa la quantitat i diversitat de residus que es reciclen a través del sòl a Catalunya caldria que, per a poder-ne obtenir el màxim benefici i el menor impacte ambiental, es planifiqués la valorització d'acord amb la qualitat de la matèria orgànica (com a esmena o adob orgànic) i amb el contingut i naturalesa del nitrogen (com a fertilitzant nitrogenat).

La quantitat de carboni segrestada en el sòl és molt variable en funció del residu orgànic aplicat. Per exemple, un 6-8% del carboni aplicat en forma de bioresidus compostats, es pot conservar encara al sòl al cap de 100 anys. Per altra banda, l'aplicació al sòl de residus orgànics aporta nutrients que, si fossin aplicats en forma de fertilitzants minerals, augmentarien les emissions de GEH en el seu procés de fabricació (30-60 kg CO₂ eq/Mg compost).

La valorització energètica dels residus orgànics representa una detracció de les quantitats de carboni orgànic que potencialment es podrien aplicar al sòl. En funció del tipus de valorització energètica i del tipus de residu, l'impacte que es pot produir serà més o menys gran. En el cas de la metanització, la valoració energètica consumeix les fraccions més làbils del C.

La valorització energètica per piròlisi de restes forestals genera un residu sòlid enriquit en carbó, que és resistent a la degradació química i microbiana, i que rep el nom de biocarbó (en anglès, *biochar*) quan s'usa com a forma de segrest de carboni al sòl. Recentment se'n promou la incorporació al sòl com una de les mesures «carboni-negatives» que podrien contribuir a mitigar els efectes del CC. El seu grau d'estabilitat és variable però alt, i té un elevat potencial global per a segrestar CO₂, ja que conserva fins a un 50% del carboni inicial. La seva incorporació al sòl contribuiria a mitigar les emissions difuses de GEH i a augmentar l'embornal de carboni dels sòls, tot i que caldria avaluar la importància que aquesta mesura podria suposar en les reduccions de les emissions de CO₂ en el context català, probablement limitades. El benefici per als sòls agrícoles encara està en discussió i haurà de ser avaluat, però molt probablement la seva valorització per a restaurar sòls degradats pot representar una

alternativa important d'aplicació a Catalunya, cas que es generessin residus que puguin ser sotmesos a aquest tractament.

A la Unió Europea, el marc d'actuació per a la protecció del sòl ve determinat per l'Estratègia Temàtica del mateix nom, una de les peces de la qual és la proposta de Directiva de Protecció del Sòl. Fruit d'això, moltes normatives d'àmbit agrari o ambiental ja incideixen directament o indirecta al sòl i tenen implicacions en relació al CC.

L'expansió legislativa en els diferents nivells administratius —UE, Espanya i Catalunya— pretén essencialment reduir les emissions de GEH incloses dins la Directiva de comerç d'emissions i afectades per la Ley 1/2005. Poca cosa s'ha fet per a protegir i potenciar les existències de carboni als sòls més enllà del que fixen les bones condicions agràries i mediambientals de la PAC que, alhora per si mateixes, poden contribuir a reduir emissions difuses de GEH originades per diferents activitats agràries. L'ús del segon pilar de la PAC en el PDR ha estat insuficient pel que fa a la lluita contra el CC. Fins ara els programes i polítiques d'actuació establerts per a mitigar el canvi climàtic en els diferents nivells administratius —UE, Espanya i Catalunya— no han desenvolupat les eines per a fer efectives les possibilitats del sòl en el segrest de C.

Tant la gestió com els usos del sòl estan afectats per polítiques molt diferents, amb objectius, en

general, molt amplis, sovint contradictoris i en ocasions contraris a la lluita contra el CC. En analitzar el marc normatiu, se'n poden extreure algunes consideracions prou interessants: (i) Diferents actuacions encapçalades amb el títol «protecció del sòl» no tenen els mateixos objectius de protecció, (ii) L'efectivitat esperada de la legislació establerta per la UE no sempre s'aconsegueix quan les administracions estatals i autonòmiques l'apliquen. Això es posa en evidència en diferents estudis duts a terme en relació a l'aplicació d'algunes polítiques específiques com: condicionalitat, PAC, o desertificació. (iii) Algunes polítiques normativitzades per la UE, en la seva aplicació, poden produir efectes indesitjables sobre el segrest de carboni pel sòl. Així, augmentar el conreu per a biocarburants o potenciar l'aprofitament energètic de residus biodegradables reduirà la possibilitat que el sòl segresti C, tal com es regula en les mesures contingudes en el *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008–2012* i el *Pla de l'Energia de Catalunya 2006–2015*.

Paraules clau: sòl, matèria orgànica, emissions GEH del sòl, carboni recalcitrant, carboni làbil, biocarbó, carbó negre, segrest de carboni, degradació del sòl, salinització, erosió, protecció del sòl, ús i gestió del sòl, legislació sobre sòls, restauració de sòls, esmenes orgàniques, pèrdua de matèria orgànica, restauració de terrenys degradats, reciclatge de residus.

11.1. El sòl com a reservori de carboni i de nitrogen

El segrest de carboni en els ecosistemes terrestres és un procés natural que implica la transferència del CO₂ atmosfèric a fraccions o compartiments vegetals i edàfics a través de la fotosíntesi. L'estoc terrestre de carboni constitueix un gran compartiment del seu cicle global, amb una quantitat estimada en 2.300 Pg¹ de carboni al primer metre de sòl i 600 Pg de carboni a la biomassa viva i als horitzons orgànics (Lal, 2004a). El sòl, doncs, conté més de tres vegades el carboni emmagatzemat a l'atmosfera, i la quantitat total que emmagatzema equival a un 46% de totes les reserves fòssils de carboni (carbó, petroli i gas). Es calcula que aproximadament un terç del carboni edàfic s'hi troba en forma inorgànica (750 Pg), i dues terceres parts en forma orgànica (1.550 Pg), on constitueix una fracció molt dinàmica (Lal, 2004a) i sotmesa a canvis quantitatius i/o qualitatiu continuus.

En sistemes naturals, el N s'incorpora al sòl essencialment en forma orgànica, on pot restar immobilitzat en formes orgàniques estables (humus) o làbils (biomassa microbiana). La mineralització dels compostos orgànics nitrogenats allibera el nitrogen en forma amoniacal, que pot quedar associat a les argiles per fixació en complexos d'esfera interna (fixació) o externa (adsorció), o bé es pot oxidar i originar nitrats que, gràcies a la seva elevada solubilitat i la càrrega iònica negativa, són susceptibles de perdre's per rentatge. En condicions reductores, diverses formes minerals de N poden transformar-se en NO₂, N₂O o N₂ (desnitrificació), que poden ser

emesos a l'atmosfera. La volatilització de l'amoni en forma d'amoníac també és comú a sòls calcaris o sorrencs.

11.1.1. Quantitat de carboni als sòls, estat actual dels inventaris de carboni

La determinació de la quantitat de carboni emmagatzemada al sòl és un punt clau per a l'avaluació de la capacitat de segrest de carboni i les modificacions induïdes per canvis en les condicions climàtiques, d'usos del sòl, etc.

Per conèixer l'estoc de carboni en un sòl, que no és més que la quantitat de carboni emmagatzemada per unitat de superfície, ens cal conèixer, a més de la concentració a la fracció fina ($\phi < 2\text{mm}$), quina proporció de terra fina té, quina és la densitat aparent del sòl i el gruix total considerat. Com es pot veure en la taula 1, aquests atributs tenen una importància cabdal per a estimar-ne la quantitat.

L'estimació dels estocs de carboni es complica encara més pel fet que els sòls estan habitualment formats per una successió d'horitzons, cadascun dels quals presenta diferents proporcions de carboni i de terra fina, i també diferents gruixos i densitats aparents. Amb l'objectiu de quantificar l'estoc de carboni dels sòls d'una àrea geogràfica donada cal, a més, georeferenciar correctament els punts de mostreig i assegurar la representativitat de la mostra analitzada.

11.1.1.1. Reservori orgànic

A la Unió Europea, no existeix fins ara una avaluació global directa dels continguts edàfics de

Paràmetre	Unitats	Exemple 1	Exemple 2	Dificultat de mesura o estimació
C orgànic	%	2,0	2,0	Baixa
Densitat aparent	Kg/m ³	1.350	1.200	Mitjana-alta
Terra fina	%	80	50	Mitjana
Gruix	m	2,00	0,35	Baixa
Reserva de C	kg/m ²	43,2	4,20	

Taula 1. Paràmetres necessaris per estimar la reserva de C en un sòl. Els exemples il·lustren com, malgrat que la concentració de C sigui la mateixa en tots dos casos, la quantitat total de C emmagatzemada varia notablement.

1. Pg = petagrames, 1 Pg = 10¹⁵ g.

la matèria orgànica (en endavant, MO) a partir de la informació analítica, tot i que per als sòls forestals es disposa de les dades del projecte BIO-SOIL i actualment EUROSTAT està completant el mostreig i anàlisi dels sòls agrícoles (LUCAS). Això ha de permetre en un futur proper una molt millor estimació dels continguts de MO dels sòls de la UE, especialment quan aquesta informació es combini amb la Base de Dades de Sòls d'Europa i els tipus de sòls associats. Fins ara la informació disponible es derivava de l'aplicació de diferents funcions d'edafotransferència a l'European Soil Database, que van ser utilitzades per a estimar els reservoris de carboni orgànic de la capa més superficial del sòl (0-30 cm). Els estocs de carboni estimats d'aquesta manera es van validar posteriorment per comparació amb la informació disponible a alguns estats membres (Jones *et al.*, 2006; Hiederer i Jones, 2007). El mapa que se'n deriva demostra que les àrees de menor concentració de carboni orgànic es troben preferentment al sud d'Europa, mentre que els sòls més rics en matèria orgànica s'hi localitzen al nord (Zdruli *et al.*, 2004; Jones *et al.*, 2005; Hiederer i Jones, 2007).

El mapa de carboni orgànic als sòls d'Europa posa de manifest que fins a un 74% dels sòls del sud d'Europa contenen menys d'un 2% de carboni orgànic (als 30 cm superficials), que les temperatures elevades i contínues durant els mesos d'estiu afavoreixen una ràpida mineralització de la MO i, per tant, un ràpid descens del contingut orgànic dels sòls cultivats (fins a un 30% de pèrdues a sòls cultivats durant molts anys), i que els continguts de carboni i N orgànics augmenten a mesura que incrementa la quantitat d'aigua disponible (Zdruli *et al.*, 2004). Donat que les previsions de l'escenari A2 de l'IPCC per al període 2071-2100 suposen un increment mitjà de la temperatura de 4,0-5,5 °C i un descens de la precipitació d'entre el 15 i el 5%, és previsible que els continguts mitjans de carboni orgànic als sòls de Catalunya es redueixin sensiblement en el període estimat. Els continguts majors de carboni orgànic es localitzen en general als sòls forestals. Així, per exemple, Balboa-Murias *et al.*, (2006) han trobat continguts de C_{org} d'entre un 3,2 i un 9,4% als horitzons més superficials de rouredes de *Quercus robur* al NO de la península ibèrica, mentre que

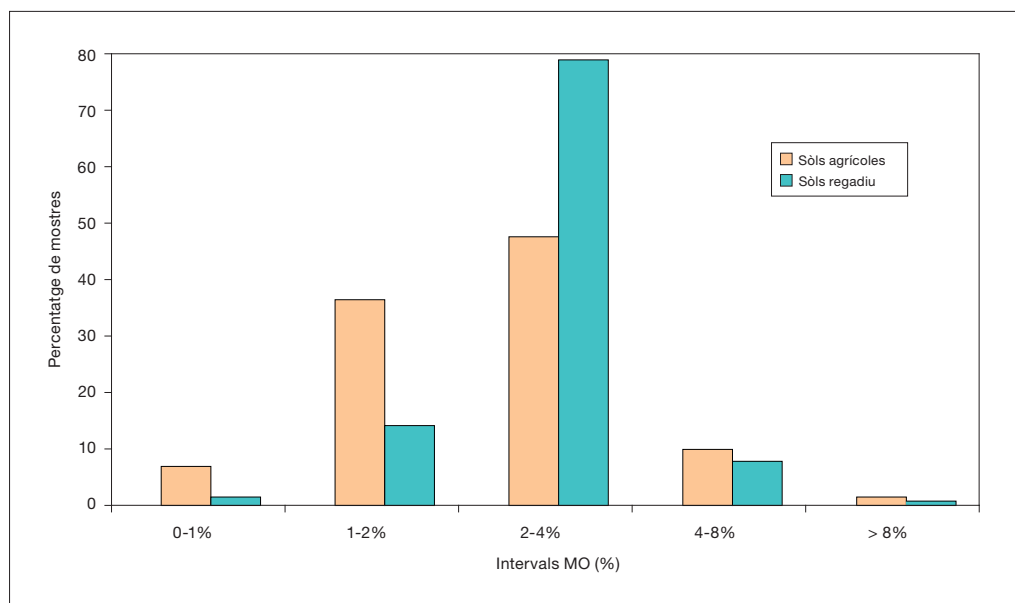


Figura 1. Distribució dels continguts de matèria orgànica del conjunt dels sòls agrícoles de Catalunya (10.115 mostres de terres llaurades i de pastures, dades referides a la superfície agrària útil), i d'un mostreig específic de sòls de regadiu (300 mostres). Font: Base de dades del DAR (2009).

Rodríguez Martín *et al.*, (2006) han trobat un contingut mitjà del 2,2% de MO a sòls agrícoles de la vall de l'Ebre.

A Catalunya, a partir d'una àmplia base de dades de sòls del DAR (2009), on una part molt significativa de les mostres procedeixen d'estudis de cartografia detallada i l'altra d'estudis de diagnòsi de la fertilitat i només una part de treballs amb finalitat de conèixer el contingut de MO del sòl, es pot observar que prop del 80% dels sòls agrícoles tenen continguts de MO compresos entre un 1 i un 4% (equivalents a 0,58 i 2,32% de C) si bé la distribució n'és prou àmplia (figura 1). En un estudi més detallat i utilitzant la base de dades del DAR abans citada, que comprèn gairebé el terç occidental de Catalunya, Costa (2004) recopila informació de més de 3.000 anàlisis i mostra que el reservori mitjà de carboni orgànic al primer metre de sòl és d'uns 90 Mg/ha, si bé gairebé la meitat es troba als primers 30 cm (taula 2). En un estudi equivalent, i també amb la mateixa base de dades, a les Terres de l'Ebre, Grañana i Fonollosa (2009) troba continguts semblants, lleugerament majors, a les diferents profunditats considerades (taula 3). Malgrat la informació abans esmentada, caldria millorar el coneixement de les reserves de carboni dels sòls de Catalunya, especialment els no agrícoles. A més, l'escassetat i la dispersió dels treballs realitzats en aquesta matèria fan aconsellable la creació d'una xarxa que faci la funció de recopilar-ne els resultats més rellevants. En aquest sentit pot resultar útil el lloc web sobre protecció de sòls de l'Institut d'Estudis Catalans (www.iec.cat/mapasols/) i el de l'Institut Geològic de Catalunya (www.igc.cat/web/gcontent/ca/index.php).

Profunditat (cm)	Mitjana	Desv. est.	Nre. perfils
0-15	25,7	15,1	3.221
0-30	45,1	21,1	2.432
0-50	60,7	30,5	1.304
0-100	93,4	37,7	870

Taula 2. Reserves de carboni orgànic (Mg/ha) i distribució segons la profunditat considerada en una àmplia mostra de sòls agrícoles de la franja occidental de Catalunya. El diferent nombre de perfils considerats per a cada profunditat depèn de la fondària del sòl i de la disponibilitat d'anàlisis. Font: Costa, 2004.

Profunditat (cm)	Mitjana	Desv. est.	Nre. perfils
0-15	32,3	15,6	1.611
0-30	56,1	30,9	964
0-50	75,8	47,3	619
0-100	107,0	65,5	280

Taula 3. Reserves de C orgànic (Mg/ha) i distribució segons la profunditat considerada en una àmplia mostra de sòls agrícoles de les Terres de l'Ebre. El diferent nombre de perfils considerats per a cada profunditat depèn de la fondària del sòl i de la disponibilitat d'anàlisis.

Font: Grañana i Fonollosa, 2009.

11.1.1.2. Reservori inorgànic

El carboni inorgànic del sòl es divideix en dos components: el litogènic (és a dir, els carbonats del material parental del sòl i que no s'han rentat) i l'edafogènic (anomenat de vegades carbonats secundaris). El que té més interès quant als efectes del canvi climàtic és el que es troba en partícules molt petites. En oposició a altres embornals de C, l'inorgànic té un temps de residència molt llarg, al voltant de 85.000 anys (Schlesinger, 1982), però alhora, les seves taxes d'acumulació són força baixes (1-10 g CaCO₃/m² any, Gile *et al.*, 1981).

Gairebé la meitat del C_{inorg} del sòl, a escala mundial, és present als Aridisòls, i sobre un 20% a les àrees mediterrànies, ja que aquests ambients afavoreixen l'acumulació dels carbonats (ESWARAN *et al.*, 1999). Hi ha una gran disparitat en l'estimació del C_{inorg} del sòl, degut a la impossibilitat de diferenciar entre carbonats litogènics i edàfics, llevat que s'utilitzin mètodes isotòpics. Algunes dades il·lustratives sobre estimacions de carboni inorgànic edàfic són les de Landi *et al.* (2003) a regions boreals semiàrides del Canadà en 1.340 i 1.650 Mg C/ha; Schlesinger (1982), a Arizona, en 260 Mg C/ha; Díaz-Hernández *et al.* (2003), a la costa mediterrània, a la regió de Guadix-Baza, al voltant de 876 Mg C/ha a una profunditat de 2 m; Singh *et al.* (2007), a la regió índia del Rajasthan, en 10 Mg C/ha. En un inventari recent a la Xina, s'estima un emmagatzematge de 234,2 Pg de C, del qual aproximadament la meitat és inorgànic (Li *et al.*, 2007).

A Catalunya, Costa (2004), utilitzant la base de dades del DAR, calcula uns continguts mitjans de carboni inorgànic propers als 890 Mg/ha a una fondària de 150cm, en una àmplia mostra de per-

fils de la Catalunya occidental (taula 4). La distribució global del carboni inorgànic en profunditat, estimada en uns 300 Mg/ha cada 50 cm, és més regular que la de l'orgànic per l'abundància de materials parentals carbonatats, si bé també són freqüents els sòls amb horitzons càlcics. Ara bé, cal tenir en compte que en aquestes estimacions s'han considerat els elements grossos (carbonats litogènics), però no els anomenats horitzons petrocàlcics, que són capes cimentades que poden assolir més de 2 m de gruix, especialment abundants a les àrees agrícoles de les Terres de l'Ebre i del Pla de Lleida, però també a la Cerdanya o a la Conca de Tremp. Això porta a subestimar molt aquesta fracció de carboni inorgànic al sòl. A Catalunya no és previsible un canvi apreciable de la quantitat de carboni inorgànic emmagatzemada al sòl induït pel CC, donat que les previsions de l'escenari A2 per al període 2071-2100 suposen una reducció de la quantitat total de precipitació. Convé tenir en compte però, que un increment dels episodis de pluja tempestuosos pot incrementar l'erosió del sòl, fet que pot repercutir en una pèrdua de carboni del sòl. No obstant, cal ampliar el coneixement del reservori de carboni inorgànic a Catalunya i del seu comportament front al canvi climàtic.

Profunditat (cm)	Mitjana	Desv. est.	Nre. perfils
0-50	292,3	85,5	2.144
0-100	597,2	153,5	1.517
0-150	897,0	200,2	926

Taula 4. Estimació de les reserves de C inorgànic (Mg/ha), considerant tres fondàries, en una àmplia mostra de sòls agrícoles de la franja occidental de Catalunya. El diferent nombre de perfils considerats per a cada profunditat depèn de la fondària del sòl i de la disponibilitat d'anàlisis.

Font: Costa, 2004.

11.1.2. Qualitat del carboni / matèria orgànica

Tant o més important que la quantitat del carboni orgànic emmagatzemat al sòl és la seva qualitat. La qualitat de la MO és un concepte clau que es pot definir de diferents maneres, segons es valori com a font d'energia metabòlica, o com a component estable que proporciona qualitat al sòl. Rovira i Vallejo, (2002) la defineixen com la capacitat per ser utilitzada pels microorganismes

com a font d'energia i/o de carboni. En aquest sentit, la MO de major qualitat pot generar doncs, una elevada activitat microbiana, el que n'implica una ràpida mineralització. S'han proposat diferents indicadors de qualitat (Baath *et al.*, 1995), relacionats sempre més o menys directament amb les proporcions de compostos làbils i recalcitrants.

La MO pot ser també valorada des del punt de vista del segrest de carboni al sòl. Els compostos fàcilment utilitzables per la biomassa microbiana (làbils), malgrat que puguin tenir una ràpida rotació que fa que apareguin constantment al sòl, hi tenen un temps mitjà de residència molt baix i no contribueixen per tant al segrest de carboni a mitjà o llarg termini. Per contra, els compostos que presenten més dificultat a ser utilitzats pels microorganismes (recalcitrants o estabilitzats), són els que tenen un temps de residència major i contribueixen de manera més estable al segrest de carboni al sòl (Springob i Kirchmann, 2002). Per tant, la MO de més qualitat en funció de la seva capacitat de segrestar carboni seria la més estable.

11.1.2.1 Carboni làbil

El carboni làbil del sòl està constituït pels compostos fàcilment mineralitzables presents a les restes d'animals i plantes, així com per compostos alliberats per la degradació parcial de biopolímers. Aquests compostos són essencialment midó, hemicel·lulosa i altres carbohidrats solubles (Oades *et al.*, 1970). És una fracció molt dinàmica (Zech *et al.*, 1994; Benke *et al.*, 1999; Andersson i Nilsson, 2001), i la que més fàcilment es veu modificada per canvis en els usos del sòl (Huggins *et al.*, 1998; Roldán *et al.*, 2005).

Ha estat postulat recentment que la taxa de mineralització d'alguns d'aquests compostos al sòl és extremadament ràpida, entre 1 i 70 hores en el cas, per exemple, del citrat i l'oxalat, i que, malgrat tot, la seva concentració al sòl acostuma a ser més o menys regular gràcies a la incorporació contínua per part d'exudats radiculars i l'activitat dels microorganismes del sòl (van Hees *et al.*, 2005). Ateses les velocitats amb què aquests compostos són sintetitzats i mineralitzats, és previsible que el canvi climàtic pugui afectar la concentració i composició d'aquests compostos, tot i que la direcció

d'aquesta alteració és encara incerta (van Hees *et al.*, 2005).

11.1.2.2. Carboni recalcitrant (humus, carboni negre, etc.)

El carboni recalcitrant del sòl està format essencialment per la fracció més refractària de les restes d'animals i plantes que arriben al sòl, com ara lignina, determinats greixos, ceres, resines i suberines (Horwath, 2008). Aquests compostos es poden combinar entre si a partir de lignines més o menys modificades, originant les substàncies húmiques, que poden representar entre la meitat i tres quartes, parts de la MO total del sòl, en boscos temperats i que es troben sobretot formant complexos òrgano-minerals (Kögel-Knabner i Ziegler, 1993). També alimenten la fracció recalcitrant de la MO del sòl alguns compostos làbils mitjançant, per exemple, condensacions oxidatives d'aminoàcids i pèptids amb compostos aromàtics com ara lignines, quinones o tanins, reaccions que condueixen també a la formació de substàncies húmiques (Almendros, 2008). Aquestes reaccions tenen, entre altres conseqüències, la incorporació de N a l'humus del sòl, molt poc abundant als polímers orgànics recalcitrants d'origen vegetal (Almendros, 2008). Existeixen diversos tipus d'humus, originats en condicions ambientals també diverses i que contribueixen a mantenir una gran diversitat de formes de vida al sòl (Ponge, 2003).

Els compostos orgànics més o menys carbonitzats constitueixen la MO pirogènica, que inclou el biocarbó (*biochar*) i el carboni negre (*black*), que té el seu origen principal en els incendis forestals, l'addició de carbó vegetal o la crema de restes de cultiu². En una petita proporció, també procedeix de la deposició atmosfèrica de micropartícules de sutge originades per tota mena de

processos de combustió. Constitueix també un tipus de carboni tradicionalment acceptat com a molt recalcitrant (Certini, 2005; Bruun *et al.*, 2008; Kuzyakov *et al.*, 2009; Liang *et al.*, 2008), malgrat que alguns treballs recents posen en qüestió aquest aspecte (Fox *et al.*, 2006; Cheng *et al.*, 2006; 2008). La constatació dels efectes beneficiosos que la incorporació de MO carbonosa pot exercir sobre alguns atributs del sòl (Lehmann *et al.*, 2006) ha portat en els darrers anys a postular que la seva incorporació al sòl pot resultar en una via eficaç de segrest de carboni (Lal, 2008), tot i que l'estat actual de coneixements no és encara concloent sobre els riscos ambientals que aquesta pràctica pot implicar (Sohi *et al.*, 2009) ja que s'han descrit efectes adversos del *black carbon* sobre, per exemple, els microorganismes implicats en les transformacions del N (Gómez-Luna *et al.*, 2009). Aquest és un tema d'interès que caldria continuar investigant a Catalunya.

11.1.2.3. Carboni protegit

S'han descrit diversos mecanismes que expliquen la persistència de compostos orgànics làbils al sòl, incloent-hi 1) la inclusió de restes orgàniques a l'interior de macroagregats que impedeix l'atac dels microorganismes; 2) l'adsorció a les argiles dins de microagregats que els protegeix de l'atac enzimàtic; 3) la formació de complexos amb polifenols que provenen de lignines modificades o amb substàncies húmiques, i 4) la formació de complexos organometàl·lics, per exemple amb alumini, ferro o calci. La protecció física (o fisicoquímica) s'ha descrit com una de les vies principals d'estabilització de MO al sòl, juntament amb la humificació (Rovira i Vallejo, 2003).

Els mecanismes de protecció física són els mateixos que condueixen a la formació d'estructura (Denef *et al.*, 2001; Bronick i Lal, 2005): formació de complexos òrgano-minerals amb partícules d'argila i cations polivalents que a la vegada s'uneixen entre si per a formar macroagregats. El mecanisme és, a més, cohesionat per l'acció de les arrels i les hifes, essent alhora de naturalesa mecànica (empaquetament) i química (mitjançant la síntesi i excreció de mucil·lags i glicoproteïnes que fan la doble funció de contenir carboni i estabilitzar l'estructura) i pels cicles d'humectació-dessecament, que contribueixen a l'ordenació

2. Quan els fragments de carbó són visibles i conserven part de l'estructura dels teixits vegetals se'ls anomena carbó vegetal o, recentment *biocarbó*. S'ha proposat aquest nom (en anglès *biochar*) per denominar aquest material carbonós quan es pretén aplicar al sòl, en contraposició amb el carbó vegetal (*charcoal*), que té una destinació energètica (Tenenbaum, 2009). S'utilitza la denominació carboni negre (*black carbon*) per fer referència a micropartícules de sutge i d'altres productes sòlids de la condensació dels fums que es produeixen en la combustió de tota mena de materials.

de les partícules que formen els microagregats. En aquest sentit, es pot afirmar que les pràctiques de maneig del sòl que afavoreixen la formació i la conservació de l'estructura fan possible també un major segrest de C. En sentit contrari, canvis físics que comportin la degradació de l'estructura repercutiran en una pèrdua de MO per mineralització. Per aquesta raó, les pràctiques de conreu mínim són recomanables per a reduir les emissions de CO_2 .

11.1.3. Factors edàfics que limiten la capacitat de segrest de carboni

El segrest de carboni en el sòl és funció, sobretot, de la capacitat que tingui d'estabilitzar MO, és a dir, de facilitar que sigui cada cop més recal·litant o inaccessible, ja sigui per humificació o bé per mecanismes de protecció. També depèn de la transferència o incorporació de les restes orgàniques a l'interior del sòl, procés en què la fauna edàfica té un paper rellevant. Cal esperar, doncs, que el segrest de carboni al sòl sigui funció d'atributs tan diversos com l'ús del sòl (Dick *et al.*, 1998; Dumanski *et al.*, 1998), les caracte-

rístiques químiques i físiques de les restes orgàniques (Foster i Morrison, 2002) i les condicions climàtiques (Denef *et al.*, 2001), però també de propietats edàfiques com el pH (Nierop i Vers-traten, 2003) i la quantitat i tipus d'argiles al sòl (von Lützow *et al.*, 2007). L'existència d'aquests factors limitants edàfics a la capacitat de segrest de carboni ha portat a definir el concepte de saturació de C.

11.1.3.1. El concepte de saturació de carboni i la seva estimació

El concepte de saturació de carboni parteix de l'evidència que en alguns sòls en situació d'equilibri el contingut de carboni no incrementa malgrat que les incorporacions de MO sí que ho fan, fet que suggereix que l'estoc de carboni edàfic està saturat (Stewart *et al.*, 2007; 2008). Quant a les característiques estrictament edàfiques, els límits que defineixen la saturació de carboni al sòl són, així, els mateixos factors que fan possible la seva estabilització: les proporcions de llims i argiles, l'estructura del sòl i la complexitat bioquímica dels compostos orgànics (Stewart *et al.*, 2007). La

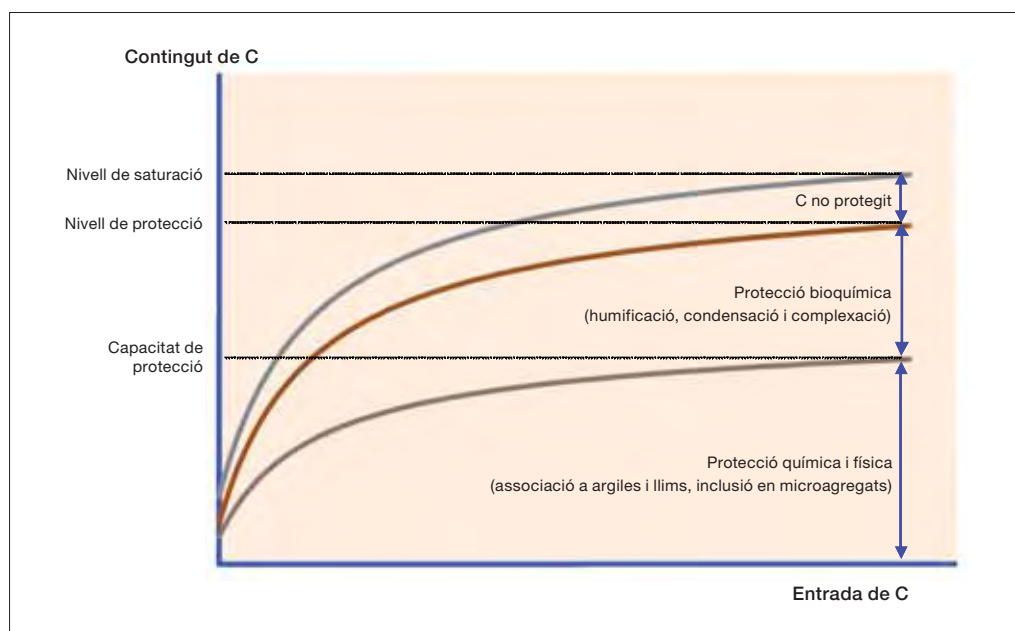


Figura 2. Representació del nivell de saturació de C a sòls, expressat en funció de la quantitat que hi és incorporada, com a suma del C protegit per mecanismes químics, físics i bioquímics i també del C no protegit.

Font: basat en Six *et al.*, 2002, i Stewart *et al.*, 2007, 2008.

quantitat de carboni emmagatzemat al sòl també depèn de característiques extrínseques, com ara el clima, el maneig del sòl, etc. D'acord amb Six *et al.* (2002), la saturació de carboni es pot definir com la capacitat d'estabilitzar carboni al sòl, incloent-hi el carboni làbil, en funció de la quantitat de carboni incorporada. D'acord amb els resultats obtinguts per Six *et al.* (2002), aquesta quantitat total de carboni estabilitzat incrementa de manera asimptòtica, no lineal (figura 2). Això significa que un sòl lluny de la seva saturació és capaç d'emmagatzemar molt de carboni i molt ràpidament, mentre que un sòl proper a la seva saturació emmagatzemarà poc carboni i lentament, malgrat que incrementi la quantitat de MO que s'hi incorpora. El canvi climàtic podria modificar la capacitat de saturació de carboni del sòl.

Aquest concepte és clau en relació amb el segrest de carboni al sòl, ja que indica que és una capacitat limitada i que el fet d'augmentar la quantitat de carboni que incorporem al sòl no té perquè traduir-se en un increment de l'estoc de C.

Steward *et al.* (2007) afirmen que els sistemes agraris mai no assoleixen el valor de saturació teòric màxim, degut a la descomposició accelerada de la MO pel conreu. En tot cas, pot arribar a aquest nivell d'equilibri en un període de 20 a 50 anys (Lal, 2004b). Això és especialment important en la planificació d'estratègies per a millorar la captura de carboni pel sòl, ja que només es notarien els efectes favorables de l'adopció de pràctiques recomanades a partir de períodes de 5 a 20 anys (Lal, 2004c).

11.2. Emissions de GEH a partir del sòl. Èmfasi en ambient mediterrani

Les principals emissions de GEH a partir del sòl comprenen el CO_2 alliberat per la respiració del sòl, el CH_4 generat als aiguamolls, conreus d'arrossar i altres zones humides, i els NO_x produïts principalment per processos de desnitrificació. A més, cal afegir l' NH_3 emès per determinats fertilitzants nitrogenats i per les dejeccions ramaderes aplicades al sòl, que si bé no és un GEH, n'és un precursor. Depenent de les condicions locals, el sòl pot actuar com a emissor o embornal de GEH. El balanç net de carboni entre la fotosíntesi i la respiració està força ajustat en els sistemes naturals amb un guany moderat a favor

de la primera. En el context dels països desenvolupats com Catalunya aquest balanç natural queda lluny de poder compensar les emissions per la crema de combustibles fòssils. Malgrat això, atesa la importància dels reservoris de carboni al sòl, qualsevol alteració que els afecti té una repercussió considerable en els fluxos del GEH esmentats.

El flux global de CO_2 entre el sòl i l'atmosfera és gairebé 10 vegades major que el derivat de l'ús de combustibles fòssils. Així, els canvis d'usos del sòl, com la transformació de boscos o pastures en sòls de conreu, o la urbanització de sòls agrícoles contribueixen a l'augment de les emissions de CO_2 (Raupach *et al.*, 2008). La gestió de la MO a sòls agrícoles i pastures, la restauració de terrenys degradats o el maneig dels arrossars tenen un potencial considerable per a mitigar els efectes del canvi climàtic (figura 3). La gestió dels fertilitzants, en especial els nitrogenats, és també una eina aplicable i efectiva per a la reducció de les emissions de CO_2 , CH_4 , N_2O i NH_4 . Globalment, les dades disponibles a nivell europeu indiquen que els sòls forestals actuen com a embornals i els agrícoles es comporten com a emissors nets de carboni (Smith *et al.*, 2006), si bé hi ha molta heterogeneïtat segons el tipus de sòl, el seu ús i les condicions ambientals. Atès que el nivell orgànic dels sòls de Catalunya és relativament baix, per raons d'una llarga tradició agrícola, per les característiques del nostre clima i pels processos de degradació que els han afectat, les emissions de CO_2 per efecte del canvi climàtic no seran probablement tan elevades com a zones que parteixen de continguts orgànics majors. Les emissions anuals del sector agrari a Catalunya s'estimen en 5.518 Gg de CO_2 eq. (any 2006) segons l'inventari estatal de GEH (MMA, 2008).

11.2.1. El CO_2 de la respiració heterotròfica del sòl

Els fluxos de CO_2 són molt variables en l'espai i el temps (Maestre i Cortina, 2003), depenen del tipus de sòl, coberta vegetal, clima, condicions meteorològiques, ús i maneig del sòl, etc. Les mesures directes realitzades al camp no poden diferenciar el CO_2 procedent de la respiració de les arrels de l'emès pels organismes heterotròfics. Els estudis sobre la respiració del sòl en condicions

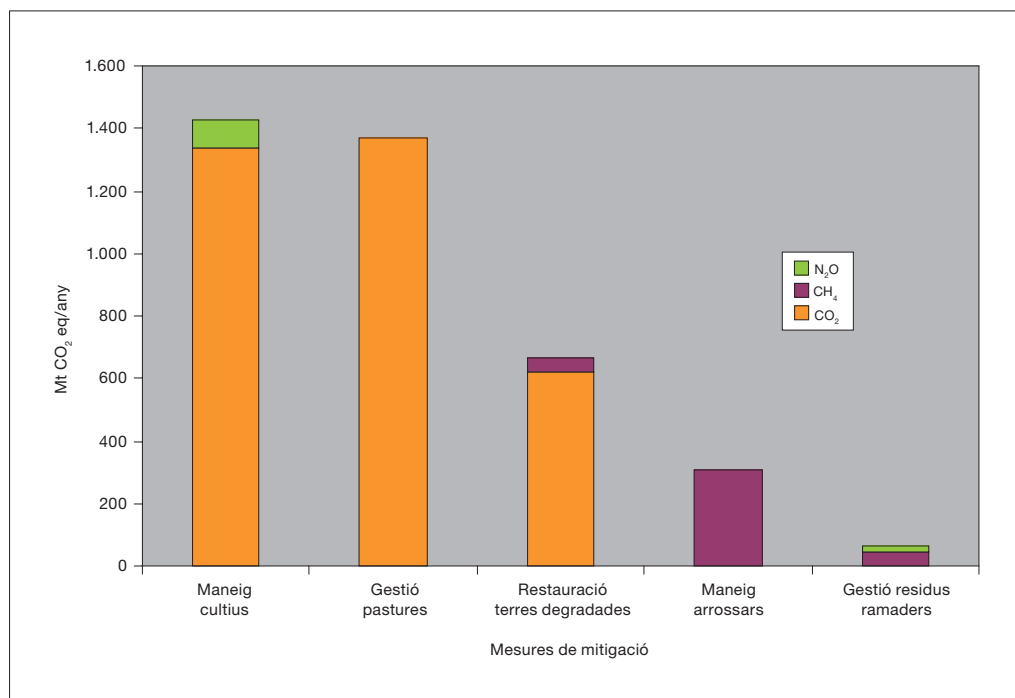


Figura 3. Potencial de mitigació global de les emissions de diferents GEH que es podria obtenir aplicant diverses mesures que tenen a veure amb el maneig o la gestió de determinats sòls.

Font: modificat a partir de Smith et al., 2007.

de camp a Catalunya no són molt nombrosos i el seu interès principal rau en el coneixement del propi procés biològic, en els efectes de la temperatura i humitat del sòl, o en la influència del tipus de vegetació. Així per exemple, estimacions del balanç entre producció i respiració de l'ecosistema realitzades a zones de pastura d'Alinyà entre 2003 i 2004 varen donar 2.049 g CO₂/m² any de respiració (sòl + vegetació) i 172 g CO₂/m² any d'emissió neta anual (Gilmanov *et al.*, 2007). A un alzinar de la Serra de Prades, Asensio *et al.* (2007) troben fluctuacions estacionals importants en la respiració del sòl determinades principalment per la humitat edàfica i estimen unes emissions mitjanes de 3.150 g CO₂/m² any. En un estudi en 35 sòls de prats dels Pirineus, Garcia-Pausas *et al.* (2008) observen que la mineralització potencial del carboni als sòls que procedien de localitats comparativament més càlides o humides era menor, fet que suggereix que els efectes del canvi climàtic poden ser considerables als sòls de prats de

montanya, caracteritzats per contenir reserves importants de C.

Les emissions globals de CO₂ estimades en el conjunt d'Europa, d'acord amb el model de Vleeshouwers i Verhagen (2002), es mostren a la taula 5, diferenciades segons el tipus d'ús agrari predominant. Ara bé, en el càlcul de l'inventari d'emissions de GEH, el CO₂ de la respiració del sòl no es té en compte atès que es considera que procedeix de la mineralització del carboni fixat a la biomassa.

11.2.2. El CO₂ de processos inorgànics

Malgrat les grans reserves de carboni inorgànic als nostres sòls, les mesures de les emissions de CO₂ procedents de la descomposició dels carbonats són encara molt incompletes per la dificultat de diferenciar el CO₂ que prové de fonts orgàniques i minerals. El procés natural que permet l'alliberament de CO₂ de minerals és la descarbonatació de les calcàries i dolomies, procés lent mediat per l'acidesa generada per la con-

Tipus de terres agrícoles	Superfície (ha x 10 ⁶)	Flux anual de C (Mg CO ₂ /ha any)		Emissió total als EU15 (Tg CO ₂ /any)	
		Mitjana	Des. est.	Mitjana	Des. est.
Pastures	49,3	2,20	2,37	109	117
Conreus	93,1	-3,05	1,47	-284	137
Tipus de mesura	Aplicable a	Flux anual de C (Mg CO ₂ /ha any)		Emissió total als EU15 (Tg CO ₂ /any)	
		Mitjana	Des. est.	Mitjana	Des. est.
Conversió de conreus en pastures		7,03	2,08	655	193
Conreu mínim		1,05	0,32	98	30
Incorporació de palla		0,78	0,28	73	26
Aplicació de fems		5,37	1,64	500	153

Taula 5. Fluxos anuals de C a Europa (EU15) estimats per al període 2008-2012 en l'escenari socioeconòmic actual en sòls agrícoles, i efecte de diverses mesures de mitigació. (1 Tg= 10¹²g).

Font: Vleeshouwers i Verhagen (2002).

centració de CO₂ a la solució del sòl que comporta la formació de bicarbonat. Els bicarbonats formats poden ser exportats del sòl o reprecipitar als horitzons càlcics amb l'alliberament de CO₂ que pot restar a la solució del sòl (sòl humit) o ser emès a l'atmosfera (sòl sec). Stevenson i Verburg (2006) en incubacions de laboratori, mesurant les relacions isotòpiques del C, varen calcular que el 13% del CO₂ emès del sòl tenia un origen abiòtic. Ara bé, en condicions de camp, els fluxos de carboni a sòls de zones àrides poden estar molt influïts per la precipitació o redissolució estacional dels carbonats (Emmerich, 2003)

La irrigació de sòls rics en carbonats també facilita la dissolució progressiva d'aquests minerals i pot augmentar l'alliberament de CO₂ en uns casos o la reprecipitació de carbonats en d'altres. Els fertilitzants que acidifiquen el sòl també contribueixen a la descarbonatació i per tant afavoreixen l'alliberament de CO₂ a l'atmosfera, sense comptar el CO₂ equivalent emès en la seva fabricació. Pràctiques d'encalcat per a la correcció de sòls àcids, també suposen una emissió de CO₂ a partir de minerals carbonatats; així, West i Mc Bride (2005) estimen que gairebé la meitat del carboni mineral aportat per l'encalcat als sòls dels EUA acaba retornant a l'atmosfera, quantitat força menor a la que inicialment es considerava. Aquesta pràctica és molt minoritària a Catalunya, de manera que les emissions derivades són negligibles.

11.2.3. El metà

La predicció del paper dels sòls en el balanç de CH₄ és complexa perquè cal considerar tant les emissions com l'absorció d'aquest gas, ja que a la majoria de sòls es poden trobar microorganismes metanogènics i metanotròfics. Ara bé, globalment, les emissions superen l'absorció i s'estimen entre 28-32 Tg anuals de CH₄ (Hortwatt, 2008). La generació de CH₄ es produeix en absència d'oxigen, com pot succeir habitualment a histosòls i gleisòls, però també a zones reductores dins d'agregats a diversos sòls quan es troben en condicions properes a la saturació. Els aiguamolls i els arrossars són els ambients més favorables a aquestes emissions. Una de les zones millor estudiades són els arrossars de la Xina, on s'ha mesurat el flux de CH₄ que presenta una mitjana anual entre 114 i 138 kg C/ha any (Zhang *et al.*, 2009). Les propietats del sòl també influeixen, essent majors quan la textura és arenosa i el contingut en MO elevat; en canvi, una major disponibilitat de N_{inorg} redueix la producció (Huang *et al.*, 2004).

Les emissions de CH₄ es poden veure afectades per les pràctiques de maneig agrícoles, així, la compactació del sòl pot afavorir les emissions a sòls rics en MO i propers a saturació (Mosquera i Hilhorst, 2007). La gestió de l'aigua als arrossars pot reduir les emissions si es trenquen les condicions anaeròbiques per dessecació parcial de les plantacions. L'aplicació d'adobs com el sulfat amònic o de certs inhibidors de la nitrificació

també contribueix a disminuir-les. L'aplicació d'adobs orgànics poc estabilitzats o de restes vegetals fresques als arrossars incrementa la seva generació.

Segons el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (1993) la superfície ocupada per aiguamolls és petita (2.629 ha) incloent-hi petites torberes, i la d'arrossars és de 21.506 ha, la majoria al Delta de l'Ebre (DAR, 2007). Així, les possibilitats de reduir les emissions de CH_4 actuant sobre les zones humides són mínimes, atès que la major part pertanyen a espais naturals protegits, sigui dins la Xarxa Natura 2000 o en d'altres, amb la finalitat de preservar determinades espècies o els seus hàbitats. En canvi, introduir certes modificacions en la gestió dels arrossars, podria contribuir a reduir aquestes emissions, per exemple, una selecció més acurada dels fertilitzants o escurçar el període d'inundació. De tota manera, la reducció global de les emissions a Catalunya seria petita.

11.2.4. Emissions nitrogenades

L'ús de fertilitzants nitrogenats de síntesi i d'adobs orgànics és una de les causes principals de les emissions de N_2O i NO . S'han estimat unes emissions globals anuals de 3,5 Tg de N_2O i de 2,0 Tg de NO a sòls agrícoles i pastures fertilitzades, que representa entre el 0,5 i 0,8% de la quantitat total de fertilitzant utilitzada (FAO-IFA, 2004). Quant a l'amoniac, les pèrdues globals s'estimen en un 14% quan s'apliquen fertilitzants minerals i del 23% per als adobs orgànics (FAO-IFA, 2004). En general, l'ús de fertilitzants ni-

trogenats és poc eficient, fet que implica pèrdues per emissions gasoses, lixiviació o erosió que poden assolir el 50%. L'increment de l'eficiència en l'ús de fertilitzants és un medi eficaç per a la lluita contra el canvi climàtic per quant permet minvar les emissions de GEH i reduir la fabricació de fertilitzants minerals. Això comporta una disminució tant de les emissions com del seu transport. Ara bé, l'efecte sobre les emissions globals que pot tenir la regulació de l'aplicació de fertilitzants no deixa de ser moderat.

Els sòls es comporten com a emissors i embornals de N_2O i NO , si bé predominen les emissions netes d'ambdós gasos. La seva alliberació o fixació és el resultat de processos microbiològics i abiòtics, principalment la nitrificació i la desnitrificació, per tant, influeix també la disponibilitat de N-NH_3 al sòl. La nitrificació consisteix en la formació de NO_2^- i de NO_3^- per microorganismes especialitzats en condicions aeròbiques. La desnitrificació es dona quan els nitrits i nitrats són transformats en N_2 i òxids de N, generalment en condicions anaeròbiques i a sòls rics en MO, per varis grups de microorganismes. És especialment important al sòls inundats com aiguamolls o arrossars. La producció de N_2O i NO sol ser major a microzones, on les condicions no són gaire reductores, com succeeix a sòls ben drenats quan han estat afectats per pluges intenses o reg a tesa (Brady i Weil, 2008).

En les emissions d' NO_x cal diferenciar les produïdes pels processos naturals, de les induïdes per l'aplicació de fertilitzants i adobs orgànics. En la taula 6 es mostra el N emès en forma de

Fertilitzant	N- N_2O			N-NO		
	Mitjana	Des. est.	Màxim	Mitjana	Des. est.	Màxim
Amoniàc	2,0	2,2	7,3			
Clorur d'amoni	0,1	0,1	0,4	0,1	0,3	1
Nitrat amònic	1,7	1,8	7,1	3,8	5,6	13
Sulfat amònic	0,8	2,4	11,4	3,5	1,1	5,0
Nitrat amònic i càlcic	1,5	3,5	12,0	0,2	0,3	0,4
Nitrat potàssic	2,4	4,4	12,5			
Adobs orgànics	0,6	0,7	3,3	0,0	0,1	0,1
Urea	1,1	2,7	14,7	0,9	1,2	3,0

Taula 6. Emissions de N- N_2O i de N-NO (expressades en % del N afegit) induïdes per la fertilització de sòls i calculades a partir de diverses dades d'arreu del món.

Font: a partir de FAO-IFA 2004.

N_2O i NO per l'aplicació de diferents fertilitzants. Si bé són petites, s'observa una gran variabilitat degut a què les dades són un resum de mesures realitzades a sòls, cultius i climes molt diferents. Els que generen més emissions de N_2O són l'amoniac, el nitrat potàssic i les mescles d'adobs orgànics amb minerals. Pel que fa al NO, les majors emissions les donen el nitrat i el sulfat amònic, seguit de la urea.

Les emissions de N_2O depenen principalment de les dosis de fertilitzants aplicades, essent significativament majors quan s'ultrapassen els 100 kg N/ha/any (taula 7). Els sòls de textura fina presenten majors emissions que els arenosos, així com els mal drenats i de pH lleugerament àcid. Quant al tipus de cultiu, les gramínies i altres conreus de plantes no lleguminoses són els que emeten més N_2O . Es disposa de poques dades publicades a Catalunya, Teira-Esmatges *et al.* (1998) mesuren emissions d'entre 7 i 54 g N- N_2O /ha a sòls de Bellpuig, Barbens i Pinell durant el període de reg, força menors que les indicades a la taula 7.

Pel que fa al NO, les emissions també augmenten amb la dosi de fertilitzant (taula 7) i el

contingut de MO del sòl. Els sòls de pH neutre i textura grossa mostren majors emissions. En canvi, a diferència del que succeeix amb el N_2O , les emissions de NO són majors en sòls ben drenats.

La informació disponible sobre la volatilització de l'amoniac és més heterogènia i no cobreix tot el rang de situacions desitjable per a fer-ne una avaluació global. S'observen taxes de volatilització <15% quan les dosis de fertilitzant nitrogenat no superen els 50 kg N/ha però poden superar el 20% quan s'ultrapassen els 200 kg N/ha. El tipus de fertilitzant emprat també condiciona molt les pèrdues per volatilització, sent els més desfavorables el nitrat amònic, els fems i la urea. Les característiques del sòl, com el pH bàsic, l'afavoreixen; en canvi, no està tan clar l'efecte de la textura. Quan el contingut de MO és baix solen produir-se majors pèrdues. Segons FAO-IFA (2004) la volatilització mitjana d' NH_3 derivada de l'aplicació de fertilitzants de síntesi és del 14% i la procedent dels adobs orgànics del 23%. Segons Teira (2008), les pèrdues d' NH_3 derivades d'aplicacions de purí a sòls calcaris van del 24 al 35% del N amoniacal aplicat, i del 8 al

Dosi N aplicada (kg/ha)	N_2O (kg N- N_2O /ha any)		NO (kg N-NO/ha any)	
	Nre. observacions	Mitjana ponderada	Nre. observacions	Mitjana ponderada
0	206	0,5	21	1,7
1-50	33	1,8	45	2,4
50-100	184	1,8		
100-150	113	2,0	16	2,5
150-200	98	2,3		
200-250	56	3,1	17	4,3
>250	156	5,4		
Textura del sòl				
Grossa	447	2,3	71	0,3
Mitjana	147	2,1	13	0,4
Fina	134	3,1	5	0,4
Tipus de conreu				
Gramínies	177	2,7	23	1,0
Lleguminoses	36	3,6	16	1,7
Arròs	61	1,9	2	3,5
Altres	512	3,2	51	2,3

Taula 7. Emissions anuals de N_2O i NO de sòls d'arreu del món, en funció de la dosi de N aplicada, textura del sòl i tipus de conreu.

Font: a partir de FAO-IFA2004.

16% si provenen de nitrat amònic i augmenten si s'incrementa la dosi de purins. En cultiu de panís en reg, s'han mesurat pèrdues d' NH_3 d'entre el 3 i el 10% del N amoniacal aplicat (NH_4NO_3) en primera cobertora (abril) i d'entre el 9 i el 32% en la segona cobertora (maig). En general, l'emissió d' NH_3 és important durant els 8 dies següents a l'aplicació.

11.3. Principals entrades de carboni i de nitrogen al sòl

En els sistemes naturals, el destí principal de la biomassa és retornar al sòl per a tancar els cicles biogeoquímics i contribuir a mantenir-ne la biodiversitat i la fertilitat. En condicions naturals, la quantitat que s'incorpora al sòl està relacionada amb la producció primària de cada ecosistema. La intervenció humana modifica aquest equilibri reduint el retorn de MO al sòl o accelerant-ne la descomposició. Les tradicionals pràctiques d'adobat orgànic són una forma de compensar aquest desequilibri.

11.3.1. Adobs orgànics

Des de temps seculars, els sòls agrícoles de Catalunya han rebut aportacions sostingudes de MO que els ha preservat d'un major empobriement i degradació que haurien sofert per l'ús i explotació continuada a què han estat sotmesos, entre altres factors. Avui, la MO que fa aquesta funció té orígens molt diversos —agrícola, forestal, urbà, industrial—, i per a anomenar-la s'usa una terminologia molt variada; genèricament es parla de residus orgànics però també de residus biodegradables³ o bioresidus⁴, MO

exògena⁵, residus orgànics biodegradables⁶, esmena orgànica⁷, adobs orgànics⁸, etc. Alguns termes són ben definits en la legislació, d'altres només són una proposta, però tots ells s'usen indistintament i de forma generalitzada.

Segons la tipologia del residu a valoritzar⁹, s'apliquen al sòl tal com s'han generat, és a dir sense tractament previ, o bé després d'haver estat sotmesos a un o varis tractaments¹⁰ de naturalesa molt diversa (biològic, mecànic, fisicoquímic o tèrmic).

Amb el temps, una gran varietat de RO s'han anat convertint en materials valoritzables a través dels sòls. Així per exemple, les quantitats de RO d'origen industrial que van aplicar-se a sòls agrícoles van passar, en el quinquenni 1996-2000, de poc més d'un miler de Mg a superar els 420 milers de Mg (Alcañiz *et al.*, 2005); en total, durant aquest període es van aplicar al sòl gairebé 1 milió de Mg de RO d'origen industrial.

5. Qualsevol MO que es retorna al sòl per al creixement dels conreus, millorar la qualitat del sòl i restaurar i recuperar el territori per a futurs usos. (Van-Camp, *et al.*, 2004)

6. Residu o subproducte d'origen vegetal o animal utilitzat com a matèria primera, susceptible de transformar-se per l'acció de microorganismes aerobis o anaerobis i donar lloc a un tipus d'esmena orgànica. Els residus aptes es troben en l'annex IV del RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productes fertilizantes, descrits d'acord a la llista europea de residus (Decisión 2001/118/CEE, transposada per Orden MAM/304/2002).

7. Esmena procedent de materials amb carboni d'origen vegetal o animal, utilitzada fonamentalment per a mantenir o augmentar el contingut en matèria orgànica del sòl, millorar les seves propietats físiques i millorar també les seves propietats o activitat química o biològica. La seva descripció es troba en el grup 6 de l'annex I del RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.

8. Producte que té per funció principal aportar nutrients per a les plantes, els quals provenen de materials amb carboni d'origen vegetal o animal. La seva relació s'inclou en el grup 2 de l'annex I del RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.

9. Valorització material: qualsevol procediment, inclòs el reciclatge, que permet l'aprofitament dels recursos continguts als residus, exclosa la utilització dels residus com a font d'energia (DL 1/2009, pel qual s'aprova el Text refós de la Llei reguladora dels residus).

10. L'operació o conjunt d'operacions de canvi de característiques físiques, químiques o biològiques d'un residu per tal de reduir o neutralitzar les substàncies perilloses que conté, recuperar-ne matèries o substàncies valoritzables, facilitar-ne l'ús com a font d'energia o afavorir-ne la disposició del rebuig (DL 1/2009, pel qual s'aprova el Text refós de la Llei reguladora dels residus).

3. Tots els residus que, en condicions d'abocament, es poden descompondre de forma aeròbia o anaeròbia, tals com restes d'aliments i de jardineria, el paper, el cartó. (Directiva 99/31/CEE, relativa al vertido de residuos, transposada en RD 1481/2001).

4. Els residus biodegradables de jardins i parcs —residus verds— residus alimentaris i de cuina procedents de llars, restaurants, serveis de restauració col·lectiva i establiment de consum al detall i residus comparables procedents de plantes de transformació d'aliments. No s'hi inclouen els residus agrícoles o forestals, el fens, els fangs de depuració ni altres residus biodegradables com tèxtils naturals, paper o fusta tractada. També en queden exclosos els subproductes de la indústria alimentària que mai es converteixen en residus. (COM(2008) 811 final, LIBRO VERDE sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea).

Aquesta nova situació esclatà a molts països europeus en desplegar-se el procés d'ordenació de la gestió dels residus, que prioritza la reutilització i el reciclat front a la valoració energètica o l'eliminació en abocadors, regulat per un important desplegament legislatiu (vegeu la taula 17). En aquesta expansió, però, el reciclatge no sempre s'ha realitzat disposant de suficient informació sobre la qualitat dels RO (Soliva i Felipó, 2003; Soliva, 2004; Felipó, 2005). Si bé diferents països han establert criteris de qualitat per a la valorització al sòl, entre ells Espanya, no existeix un marc legislatiu que ho reguli a la UE.

L'excés de dejeccions ramaderes generat per la ramaderia intensiva a determinades zones, essencialment de porcí (els purins), juntament amb l'abús de l'ús d'adobs nitrogenats sintètics, ha desencadenat un problema nou a casa nostra, la contaminació difusa dels aqüífers. L'aplicació d'aquests materials fertilitzants a l'àmbit territorial de Catalunya està regulada, a partir de la directiva de nitrats, per un extens conjunt de normes (vegeu la taula 17).

La generació actual de MOR a Catalunya és considerable, té orígens molt diversos i molts tipus són susceptibles de ser aplicats als sòls (taula 8). Aquests materials, en general, tenen una composició molt variada (Soliva i Felipó, 2003; Soliva, 2004) que per a un mateix tipus pot variar d'un lloc a un altre i amb el temps. El notable contingut en MO de la majoria va acompanyat d'una riquesa apreciable en N i P, mentre que el contingut en K és més variable.

La valorització de residus al sòl es duu a terme mitjançant alternatives ben diferenciades i assenyalades en el Catàleg de Residus de Catalunya¹¹: (1) utilització en profit de l'agricultura; (2) utilització en la restauració d'activitats extractives; en aquest cas els RO s'apliquen només com a esmena incorporats a la capa superficial de sòl per a poder establir-hi la coberta vegetal; i (3) compostatge, que a més de l'aplicació agrícola permet la utilització del compost com a substrat de conreu, d'interès en jardineria i conreu d'ornamentals, com a substitut de la torba.

11. Segons: Decret 34/1996, Decret 93/1999 i Resolució del 27 d'octubre de 1999.

MOR	Mg/any ¹	Kg N/any
Purí*	15.000.000	51.500.000
Fems + gallinassa**	4.000.000	53.600.000
Fangs EDAR**	600.000	5.882.102
Altres (compost, etc.)***	20.000	150.000

Taula 8. Producció anual estimada de matèries orgàniques d'origen residual (MOR) susceptibles d'aplicació al sòl agrícola i contingut de N. A partir de Bonmatí (2008), ARC (2009b) i DAR (2009).

Nota: equivalències teòriques segons USMOS, 2004

*Capacitat x valors estàndards x 80 % d'ocupació

**Declaració residus 2005

***Declaració plantes compostatge 2005

¹ En matèria fresca.

Un estudi que mostra la generació de les dejeccions ramaderes (fems i purins) i el seu impacte al territori català (ACA, 2005), estima que es produeixen anualment uns 120.000 Mg de N d'origen ramader¹². La major càrrega de N generada per comarca (N total generat respecte a les hectàrees totals de superfície de la comarca on es genera) es localitza al Pla d'Urgell (5.300 mg de N/any), seguit de les comarques d'Osona, el Pla de l'Estany i el Segrià. La pressió que aquest N pot suposar a la qualitat de les aigües subterrànies (figura 4) fou valorada mitjançant la relació entre el N_{total} d'origen ramader produït per comarca i les hectàrees de SAU, les quals són susceptibles de rebre l'aplicació de les dejeccions ramaderes. A les comarques d'Osona i Pla de l'Estany és on aquesta pressió és més notable, seguides pel Vallès Oriental.

Des que s'endegà el Pla Sanejament de les aigües residuals de Catalunya, la generació de fangs d'EDAR ha anat creixent pràcticament fins a l'actualitat, moment en que s'ha estabilitzat; d'ara fins al 2014 s'espera només un creixement anual del 0,7% (ACA 2008). Segons la darrera memòria de l'ACA (ACA, 2007), la quantitat anual de fang que s'aplicà al sòl fou de 114.096 Mg sms

12. El 43% de la ramaderia porcina (purins), el 30% del sector boví (fems) i l'aviram aporta el 21% del total (gallinassa). El càlcul fou realitzat mitjançant les dades del cens ramader de la Subdirecció General de Ramaderia i estimant el nitrogen generat en funció del tipus de bestiar, essent les equivalències de producció emprades: bestiar vaquí: 51,1 kg de N/any; bestiar porcí: 8,5 kg de N/any; bestiar ovi: 4,5 kg de N/any; aviram: 0,5 kg de N/any; bestiar equí: 63,8 kg de N/any.

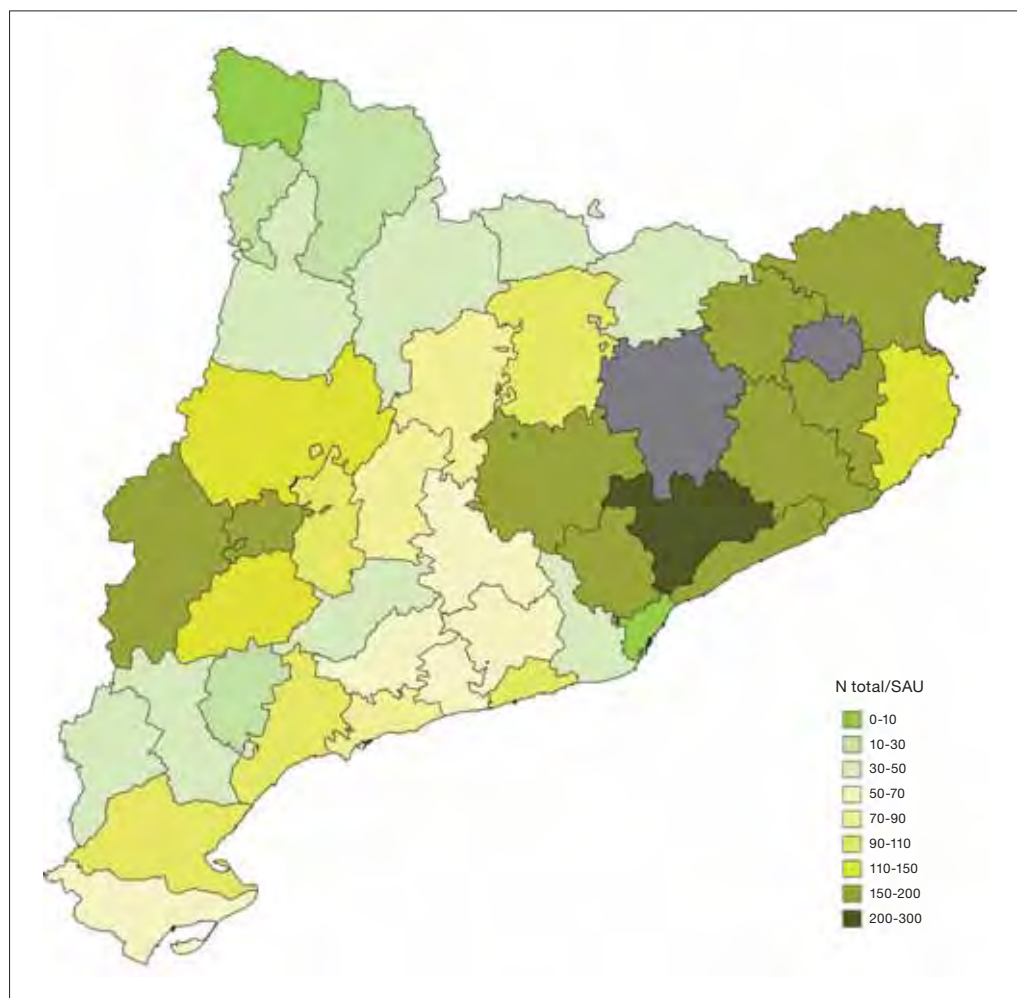


Figura 4. Relació entre la producció total de nitrogen procedent de les dejeccions ramaderes i la superfície agrària útil (Kg N/ha).

Font: modificat a partir d'ACA, 2005.

(83,1% del total generat); a més, se'n empraren 149 Mg sms (0,1% del total generat) per a la restauració de pedreres, essent el total aplicat de 114.255 Mg sms, que representa un 83,2% del fang que es genera. Actualment la major part de fang que s'incorpora al sòl a Catalunya, ha estat tractat prèviament per compostatge; només al voltant d'un 20% s'aplica directament. En la figura 5 es representen els tipus de post-tractament aplicat als fangs i el seu destí. En el futur, es preveu que es produeixi un lleuger descens d'aprofitament agrícola de fangs sense tractament posterior, un petit increment de l'aplicació previ

compostatge i una major destinació per a la restauració d'activitats extractives (ACA, 2008). Així mateix és probable un increment de la valorització energètica posterior a l'assecatge tèrmic.

La fracció orgànica dels residus municipals (FORM) en ser sotmesa a un tractament biològic, el compostatge, es transforma en un producte de més qualitat, el compost, que pot ser aplicat al sòl o emprat com a substrat de creure (Soliva, 2001; Giró, 2007). Part dels residus municipals es tracta inicialment per digestió anaeròbia i posteriorment és sotmesa a compostatge. El compostatge també s'aplica a altres RO

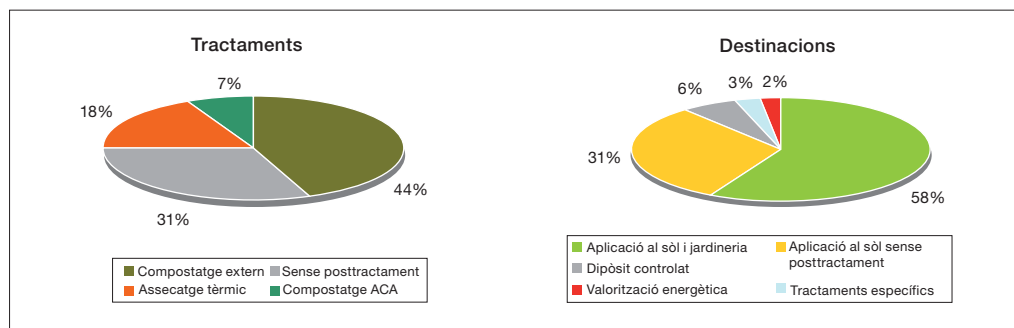


Figura 5. Tractaments i destinació dels fangs EDAR l'any 2007.
Font: ACA, 2008.

(fracció vegetal, residus industrials, fangs, fems, etc.) sols o en mescles segons les seves pròpies característiques o necessitats del procés. Una bona part del compost s'aplica al sòl i la resta es gestiona per altres vies (abocadors o incineració). La quantitat total de compost produït a Catalunya l'any 2008 (ARC, 2009c) fou de 58.772 Mg, obtinguda a partir del tractament de diversos RO: FORM (26.331 Mg), fracció vegetal (9 Mg), residus industrials (726 Mg), fangs d'EDAR (1.798 Mg) i mescla de fangs d'EDAR amb residus industrials (29.908 Mg). Finalment cal recordar que la pròpia UE reconeix, en una Comunicació¹³, Catalunya com una de les regions europees que ha apostat més fort per la recollida selectiva de residus urbans. Aquesta pràctica facilita enormement el posterior reciclatge de les diferents fraccions recollides i millora la qualitat del material (Giró 2006 i 2009).

Es preveu un increment en la generació de compost d'origen molt divers, ja que moltes activitats agroindustrials aposten per aquesta opció per tractar els residus que generen. També, el foment de la recollida selectiva de RM i la seva expansió en l'àmbit territorial de Catalunya fa

que la generació de compost a partir de FORM sigui esperançadora. Suposant que l'any 2012 es recollís selectivament el 55% dels RM que es generen, es podria arribar a obtenir prop de 128.000 Mg anuals de compost, (taula 9).

Finalment, tot i que la informació disponible sobre la valorització de RO al sòl és molt dispersa, cal fer una estimació global de la quantitat de MOR que anualment poden rebre els sòls de Catalunya i l'equivalent en N que representen (taula 10); les dades recollides en aquesta taula provenen de les informacions comentades anteriorment.

RM ¹	Generació FORM ²	Hipòtesi Recollida Selectiva ³	Compost de FORM potencial ⁴
4.306.684	1.550.406	852.723	127.908

Taula 9. Hipòtesi en la generació de compost de la FORM a Catalunya l'any 2012, suposant una recollida selectiva del 55 % dels residus municipals. Dades expressades en Mg.

¹ Generació de residus municipals de l'any 2007

² El 36% en pes de RM, segons annex 4 de ARC (2009b)

³ Objectius de la recollida selectiva, el 55 % en pes de la FORM generada, segons ARC (2009b)

⁴ Considerant que per cada 100 Mg de FORM s'obtenen entre 10 i 20 Tg de compost, calculat segons el 15%

MOR	Any	MOR ¹ Mg/any	N Mg/any
Dejeccions ramaderes (fems i gallinassa), smh	2008	4.000.000	53.600
Purins, smh	2008	15.000.000	51.500 - 75.000*
Fangs EDAR, sms	2007	114.255	4.500
Compost, sms	2008	58.772	1.400

Taula 10. Estimació global de la quantitat de MOR¹ que a Catalunya s'aplica potencialment al sòl i el seu equivalent en N.

¹ Matèries orgàniques residuals.

*suposant 5-7,5 kg N /m³.

13. COM(2008) 811 final, Libro verde sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea.

11.3.2. Fertilitzants

Els fertilitzants, a més d'augmentar la producció vegetal, estimulen l'activitat microbiana del sòl, de manera que poden contribuir directament o indirecta a les emissions de GEH. Com s'ha dit en l'apartat 2.4, hi ha una relació entre dosis de fertilitzants nitrogenats i les emissions d'òxids de N, per tant, la gestió dels adobs nitrogenats és important en la mitigació dels efectes del CC.

El consum anual de fertilitzants minerals a Catalunya en els darrers 20 anys mostra una davallada moderada (figura 6), i pel que fa al N, se situa al voltant dels 50.000 Mg de N. Aquesta disminució es veu compensada per un major consum dels adobs orgànics, especialment fems i purins (taula 10), però també s'explica per un millor ajust de les dosis d'acord amb les prescripcions del codi de bones pràctiques agràries en relació al N, pensades per a la protecció dels aqüífers, però que també constitueixen una bona eina per a reduir les emissions nitrogenades.

11.3.3. Regatge

És difícil quantificar la contribució de l'aigua de regatge en els balanços de carboni i N en sistemes agrícoles, donada llur complexitat (Leuking i Schepers, 1985; Dersh i Bohm, 2001; Entry *et al.*, 2002; Gillabel *et al.*, 2007). La poca informació sobre el transport de carboni i N en finques regades (Christopher i Lal, 2007; Izaurrealde *et al.*, 2007) mostra que el carboni erosionat pot ser del mateix ordre de magnitud que altres processos de l'ecosistema que controlen els fluxos de C, com el conreu o la descomposició microbiana. Tanmateix, l'erosió pot contribuir a l'estabilització del carboni als llocs de dipòsit (Van Oost *et al.*, 2007). Si l'aigua de reg conté C_{org} dissolt (DOC) i/o carboni associat als sediments, aquesta entrada de MO pot ser una font directa de carboni edàfic. Aquest carboni pot millorar indirectament el sequestre de carboni afavorint la formació d'agregats (DeGryze *et al.*, 2005; Kong *et al.*, 2005). Per exemple, Gillabel *et al.* (2007) mostren que l'augment observat de MOS a sòls regats va ser degut exclusivament al carboni dels microagregats.

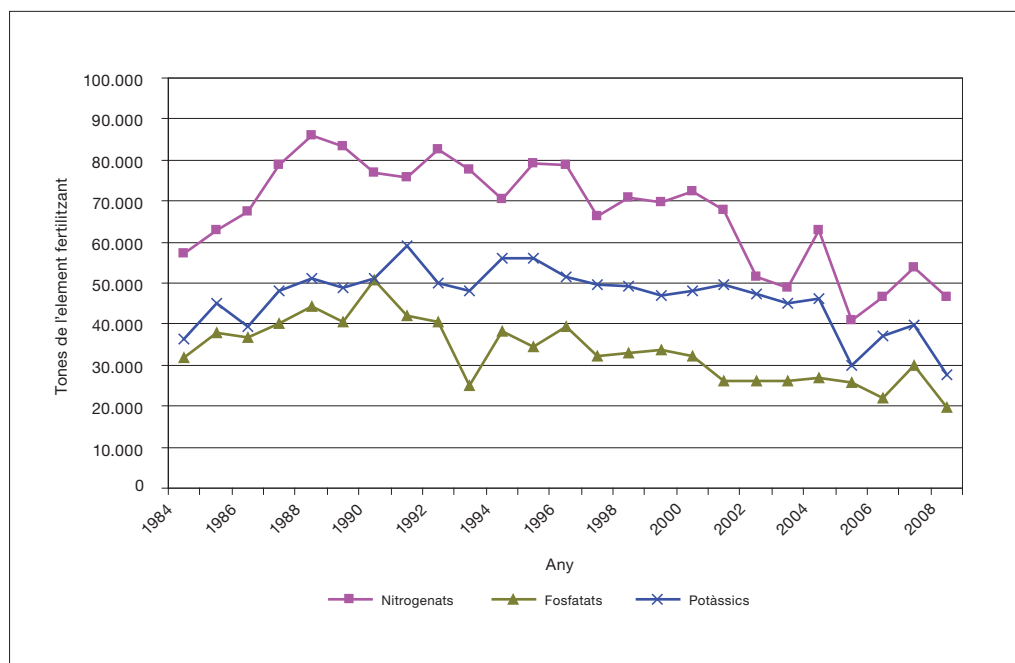


Figura 6. Evolució del consum anual de fertilitzants a Catalunya en el període 1984-2008 expressat en tones de l'element fertilitzant.

Font: ANFEE (2009) i DAR (2009).

Els diferents tipus de regatges afecten els balanços de carboni i N, ja que influeixen en la qualitat de l'aigua. Els regs a tesa alimentats per canals oberts sense revestir són els que potencialment poden aportar més càrrega de sediments i els que també poden generar més erosió per escolament superficial. Algunes mesures de carboni i N en sistemes d'aquest tipus a Califòrnia (Poch *et al.*, 2006) mostren que les aigües de drenatge contenen menys sediments i més CO que les de reg, degut a sedimentació de partícules i enriquiment en MO dissolta. En només dos regs es van mesurar entrades de 700 kg de sediment/ha, 21,4 kg C/ha i 7,7 kg N/ha, el que representaria un increment de carboni de l'ordre d'un 20% dels valors estimats de segrest de carboni en experiments de mínim conreu a llarg termini. El carboni del sediment va ser aproximadament 2/3 del carboni total (Poch *et al.*, 2006). Posteriors mesures d'aigües de reg i drenatge que incloïen escolament degut a tempestes (King *et al.*, 2009) mostren unes baixes aportacions de les darreres comparades amb els regs, que generen més escolament a escala de finca.

Les implicacions a escala de conca no es coneixen, degut a la manca de dades i possiblement varien molt en funció de les característiques dels sistemes de reg. Probablement hi ha un factor d'escala, tant espacial com temporal, que determina si el sistema perd o guanya carboni, de manera que en un esdeveniment de reg concret una finca pot perdre carboni per erosió, que en passar a les aigües de drenatge en sistemes de reg per superfície poc eficients representaria una entrada a una altra finca. En conseqüència es donaria una mobilització i redistribució de carboni dins de la mateixa conca que no es reflectiria en el balanç global.

11.4. Processos de degradació del sòl influïts pel canvi climàtic. Vulnerabilitat

El clima és un dels factors que determina els processos de formació de sòls i llurs característiques. Canvis en el clima, principalment en els règims d'humitat i temperatura, poden desencadenar, intensificar o reduir processos de formació, que resultaran en canvis en les característiques del sòl. Si aquesta nova situació suposa una pèrdua de les seves qualitats o de la capacitat de fer fun-

cions en el medi (producció de biomassa, filtre ambiental, regulador del cicle hidrològic, entre d'altres), ens trobem davant d'un procés de degradació induït pel CC, que serà més o menys intens en funció de la vulnerabilitat del sòl. Si els canvis no fan variar les seves característiques de manera important a mig termini, de manera que el sòl pot continuar desenvolupant aquelles funcions, ens trobem davant d'un sòl resilient.

Les conseqüències previstes del canvi climàtic segons l'escenari A2 de l'IPCC (2070-2100) en els règims de temperatura del sòl¹⁴, segons els criteris de *Soil Taxonomy* (SSS, 1999), són que règims mèsics de zones vorejant zones més càlides passarien a tèrmics; i els crícs i frígrids de zones frontereres a mèsics. Els règims d'humitat¹⁵ dels sòls es basen en la relació entre la precipitació i l'evapotranspiració. Encara que la precipitació no variés, l'evapotranspiració augmentaria ja que depèn principalment de la temperatura i per tant un augment de la temperatura resultaria en un major grau d'aridesa al sòl. A Catalunya, això implicaria que els situats a zones de transició passarien d'ústic i xèric a arídic, i d'údic a ústic o xèric. Això significa que les zones properes a l'eix de la vall de l'Ebre, actualment amb règim arídic (àrees més seques de Les Garrigues)

14. Els règims de temperatura del sòl, segons SSS (1999), es defineixen mesurant la temperatura del sòl, normalment a 50 cm de fondària, a partir de la qual s'estima la temperatura mitjana anual del sòl (TMAS) i les estacionals. Aquests règims són el *críic* i *frígid* amb TMAS < 8°C, *mèsic* amb TMAS entre 8°C i 15°C, *tèrmic* amb TMAS entre 15°C i 22°C, i *hipertèrmic* amb TMAS > 22°C. Si la variació anual de la temperatura del sòl és menor a 6°C, s'afegeix el prefix *iso-* al règim en qüestió.

15. Els règims d'humitat del sòl, segons SSS (1999), es defineixen en funció de l'estat d'humitat d'una secció control del sòl al llarg de l'any. Aquests són *àquic* (règims de sòls saturats d'aigua en els quals hi ha manca d'oxigen), *arídic* (règim de sòls en climes àrids o en climes semiàrids en els que les propietats físiques desfavorables o la posició geomorfològica fan que no puguin emmagatzemar aigua i que les sals puguin acumular-se per manca de rentat), *údic* (règim propi de sòls en climes humits amb una distribució uniforme de pluja, en què la quantitat d'aigua emmagatzemada al sòl a l'estiu supera l'evapotranspiració i que té prou recàrrega d'aigua durant l'hivern per a què es doni un flux descendent d'aigua la majoria d'anys), *xèric* (règim típic de climes mediterranis, amb hiverns humits i freds i estius càlids i secs) *ústic* règim intermedi entre l'arídic i l'údic, en què hi ha un dèficit d'aigua al sòl però fora del període adient per al creixement de les plantes.

augmentarien la seva superfície a expenses dels sòls adjacents que actualment estan sota règims xèrics (Urgell, Pla d'Urgell, Segrià, Priorat) i que sòls sota règims údics del pre-pirineu, actualment sense manca d'aigua, passarien a règims amb manca d'aigua estacional. Probablement l'evolució a aquestes zones seria més a xèric que a ústic, ja que es preveu que els períodes de sequera s'allarguin fins a més del 100% a l'estiu i d'un 25-75% a la primavera (Gao *et al.*, 2006; Beniston *et al.*, 2007). En el mateix sentit, una simulació del contingut d'aigua del sòl a l'estiu per a l'escenari A2 de l'IPCC (2070-2100) mostra decrements relatius de -5 a -7% a Catalunya (Calanca *et al.*, 2006).

La deriva a règims més càlids i més secs resultaria en un increment de la superfície amb necessitats de reg des del punt de vista agrícola i en un canvi en les comunitats vegetals, que s'adaptarien a condicions ecològiques més seques. Des del punt de vista de formació de sòls, una major aridesa suposaria una evolució a règims menys percolants, el que implicaria canvis de tipus químic (major concentració de sals, carbonats i guix als sòls), biològic (variacions en l'equilibri humificació / mineralització, normalment a favor de la segona) i físic (segellament superficial per pèrdua de coberta vegetal, erosió). Els canvis en propietats com la textura o la composició mineralògica ocorren a escala geològica, mentre que el pH, MO o activitat microbiana mostraran un canvi més ràpid (EEA, 2008). Tot i que la majoria d'aquests canvis comporten una pèrdua de qualitat i per tant són processos de degradació, es poden esmentar algunes implicacions positives, com per exemple un augment de la producció de biomassa o reducció de l'erosió en sòls amb règims crícs que passen a mèsics, perquè desapareix la formació de gel durant l'hivern i augmenta la temperatura mitjana del sòl; o també la disminució d'àrees amb règims àquics (saturats d'aigua i en condicions de reducció), poc representades a Catalunya.

Alguns d'aquests processos estan identificats com els majors problemes de degradació a Europa, com són l'erosió, pèrdua de MO, compactació, salinització, lliscaments de terres, contaminació, segellament i pèrdua de biodiversitat (EC, 2006). S'han seleccionat els que poden estar

més afectats pel canvi climàtic i que, per la seva superfície, poden ser més rellevants als sòls catalans. A més, l'augment de l'aridesa i/o la combinació de diversos processos de degradació pot generar desertificació¹⁶.

També cal referir-se als efectes que, tot i no estar afectats directament pel clima, són causats indirectament pel CC, com poden ser l'abandonament de terres agrícoles o el canvi d'ús del sòl en general, l'augment en la freqüència dels incendis forestals, els canvis en el grau de risc hidrològic vora els rius (augment del risc d'inundacions a sòls de ribera) o un excés de residus ramaders per abandonament de l'activitat agrícola en favor de la ramadera.

11.4.1. Erosió i desertificació

L'augment de l'erosió del sòl degut al canvi climàtic es deu, principalment, a la pèrdua de coberta vegetal causada per la menor disponibilitat d'aigua. Augmenta, doncs l'erosionabilitat del sòl *sensu lato*, però també l'erosivitat de la precipitació per l'augment de la freqüència de pluges intenses (Sauerborn *et al.*, 1999; EEA, 2003). Els efectes a escala de conca difereixen de l'anterior, ja que alguns autors suggereixen que els sòls erosionats poden redistribuir-se en el paisatge (Quinton *et al.*, 2006).

El risc d'erosió pot estimar-se a través de múltiples models, en els que l'escala de treball influeix considerablement en els resultats. A Catalunya, les estimacions mitjançant el model PESERA (*Pan European Soil Erosion Risk Assessment*) oscil·len entre 0,5 i 2 Mg/ha any a les zones més humides d'interior, i de 5 a 50 a la costa i en àrees interiors de la vall de l'Ebre (figura 7, Kirkby *et al.*, 2004). Aquest mapa pot ser aplicat a escala regional, però depèn molt de la precisió de les dades d'entrada, que fan que tingui poca resolució a escales detallades, tal com indiquen els seus autors.

L'erosió de sòls a zones àrides i semiàrides és un dels principals causants de la desertificació, que implica la incapacitat per a regenerar

16. Degradació de les terres de zones àrides, semiàrides i subhúmedes seques resultant de diversos factors, tals com la variació climàtica i les activitats humanes (segons el Conveni corresponent, CNUCLD).

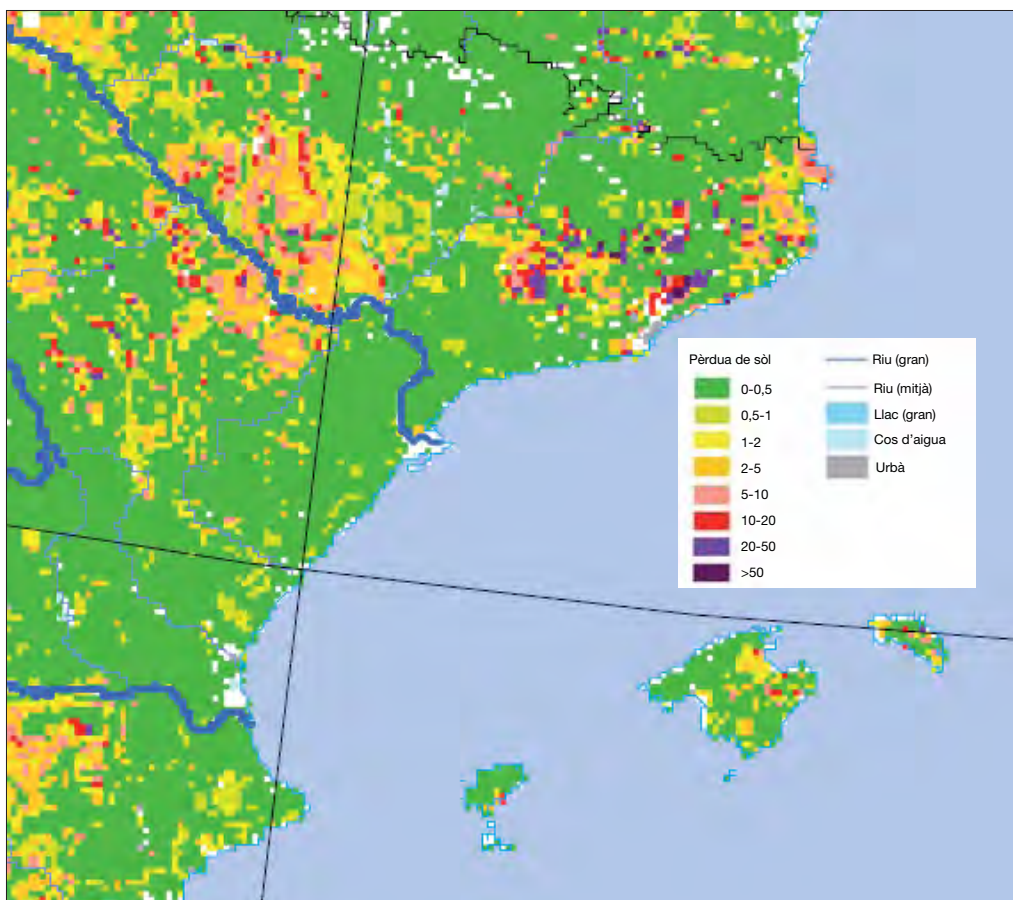


Figura 7. Risc mitjà d'erosió estimat amb el model PESERA als Països Catalans.
Font: Kirkby et al., 2004.

l'activitat biològica i la disminució de la disponibilitat d'aigua al sòl. En l'avaluació del risc de desertificació la UE recomana l'ús del model MEDALUS (*Mediterranean Desertification and Land Use*), que consisteix (Kosmas *et al.*, 1999) en la combinació de quatre paràmetres de qualitat (sòl, clima, vegetació, maneig) per a obtenir les Àrees Mediambientals Sensibles (AMS). La seva aplicació a les terres de l'Ebre es troba en la figura 8 (Simó, 2007). El 84,6% de la superfície són àrees crítiques, amb un elevat risc de desertificació. Les conseqüències d'un canvi climàtic com el descrit en l'apartat anterior augmentarien encara més la susceptibilitat a la desertificació, principalment per un descens de la vegetació.

11.4.2. Salinització dels sòls

La salinització és l'acumulació de sals solubles al sòl, principalment sodi, potassi, magnesi i calci (cations), clorurs, sulfats, carbonats i bicarbonats (anions). El seu efecte és l'augment de la pressió osmòtica de la solució del sòl, que dificulta l'absorció d'aigua per les plantes. La sodificació, per contra, és l'increment de sodi intercanviable en el complex d'intercanvi (argiles i matèria orgànica), que condueix a la dispersió de les argiles, a la pèrdua d'estructura i a un augment de l'erosionabilitat del sòl. Es distingeix la salinització primària, deguda a alts continguts de sals solubles al material parental o a l'aigua freàtica i la salinització secundària, d'origen antròpic. Entre les activitats humanes que causen la salinització i sodificació es

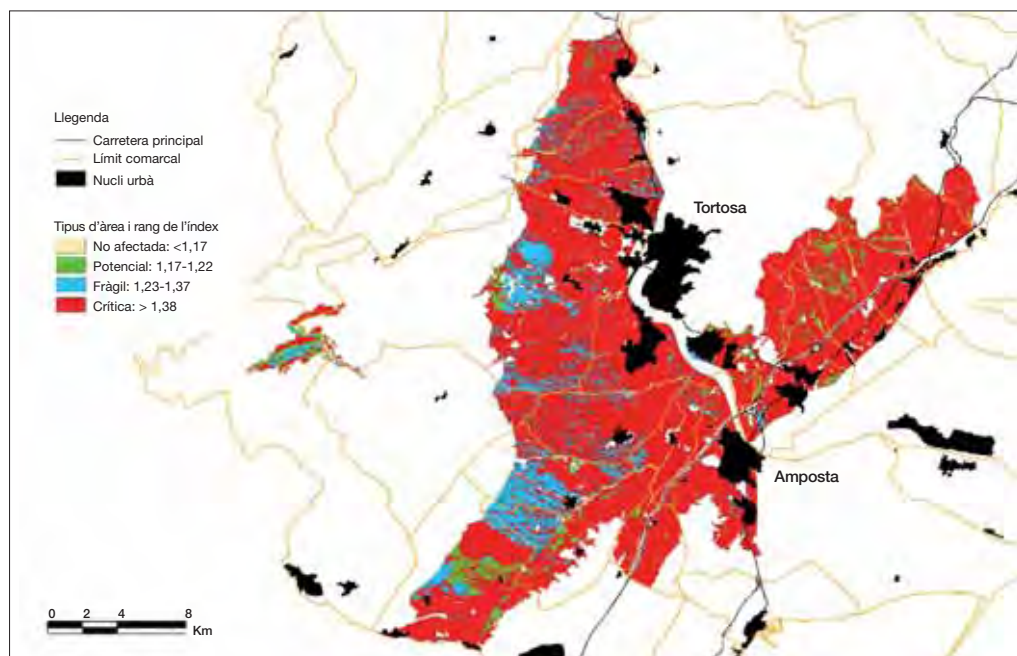


Figura 8. Tipus d'àrees ambientals sensibles (AMS) a les terres de l'Ebre segons el risc de desertificació aplicant la metodologia MEDALUS (Simó, 2007).

troben, principalment, el reg amb aigües salines, l'elevació de capes freàtiques deguda a pràctiques de reg inadequades, la fertilització excessiva o l'abocament d'aigües residuals (Louwagie *et al.*, 2009). La salinitat del sòl és una característica amb una alta variabilitat temporal. A Europa, les àrees més afectades són la meitat oriental de la península ibèrica, Hongria, àrees de Romania i zones puntuals a la resta de països. A Catalunya, la incidència de sòls sòdics és baixa, mentre que els sòls salins són freqüents al delta de l'Ebre, Empordà i zones interiors pertanyents a la vall de l'Ebre (Segrià, Pla d'Urgell, Urgell, Garrigues).

Es preveu que un canvi climàtic consistent en un augment de la temperatura i descens de la precipitació conduirà a un augment de la salinització (Van Camp *et al.*, 2004), ja que una major evapotranspiració comportarà un augment de la concentració de sals al sòl. Tanmateix, l'increment de la salinitat és altament depenent de les pràctiques de reg i dels protocols de mesura, per la qual cosa és difícil demostrar la seva dependència del clima.

A la zona regada pel Flumen, a la comarca dels Monegres, la comparació de tres prospec-

cions (1975, 1985-86, 1999) a una àrea de 27.500 ha mostra un decrement de la salinitat a les zones més salines de 5,9 a 1,9 dS/m a 25 °C, i de la sodicitat (relació d'absorció del sodi) de 22,0 a 10,5 (mmol/L)^{0.5} (Herrero i Pérez-Coveta, 2005) atribuïble a les pràctiques de reg.

Un dels pocs estudis de l'evolució de la salinitat i sodicitat a Catalunya compara els resultats de tres prospeccions (1996-97, 2007 i 2008) al delta de l'Ebre (Simó, 2007; Simó *et al.*, 2008). La quantitat de punts diagnosticats com a salins (conductivitat elèctrica de l'extracte >4dS/m a 25°C) en perfils de sòls va ser de 39,1 a 17,3 i 38,2% en les tres campanyes, indicatiu d'una alta variabilitat temporal. La salinitat és majoritàriament d'origen primari, deguda a la intrusió marina, i està relacionada amb la textura dels sòls, de manera que les textures més grosses, prop de la costa, tenen més sals, mentre que les més fines, situades a l'interior en *levées*¹⁷ del riu són menys salines pel fet de rebre aigües fluvials (figura 9). Una major intrusió marina per pèrdua de cabals

17. Dipòsits al·luvials que voregen els rius, lleugerament més elevats que la plana al·luvial.

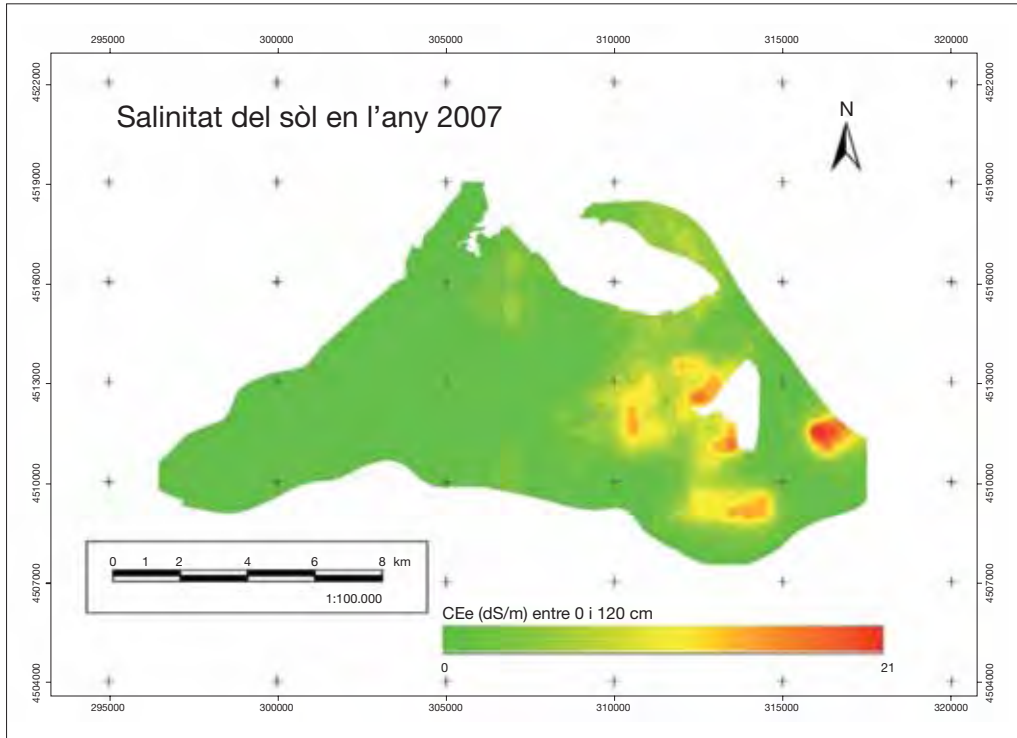


Figura 9. Distribució de sòls salins al marge esquerre del delta de l'Ebre l'any 2007.

Font: Simó, 2007; Simó et al., 2008.

dels rius i major evapotranspiració repercutiria en un augment de la salinitat dels sòls a les àrees costaneres.

11.4.3. Pèrdua de biodiversitat

La biodiversitat del sòl es refereix no només a la variabilitat dels gens, espècies i ecosistemes que el componen, sinó també a la seva estructura, interaccions funcionals i capacitat metabòlica. Aquesta biodiversitat està amenaçada pels processos de degradació de sòls (Lowagie *et al.*, 2009), deguts al canvi climàtic i a la sobreexploatació dels sistemes agraris, segons una Comunicació de la EC¹⁸. Malgrat que no existeixen estudis que relacionin biodiversitat del sòl amb el CC, la relació positiva entre la MOS, biodiversitat del sòl i biodiversitat dels ecosistemes que aquest suporta s'ha demostrat en àmbits climà-

tics diferents (Chapin *et al.*, 1997; De Bello *et al.*, 2007; Sebastià *et al.*, 2008, entre altres). Per tant els efectes del canvi climàtic poden avaluar-se a partir de les variacions en la MOS.

11.4.4 Pèrdua de matèria orgànica

La quantitat de MOS és el resultat del balanç entre entrades (aportacions naturals o exògenes, humificació-estabilització) i sortides (mineralització, respiració del sòl, erosió). Els canvis climàtics, principalment en temperatura, humitat i contingut en CO₂ afecten aquests processos a diferents magnituds i velocitats i per tant és difícil conèixer les conseqüències en el balanç final.

A banda de la pèrdua de matèria orgànica per erosió dels horitzons superficials que s'ha discutit en l'apartat 11.4.1., diferents estudis suggereixen que un augment de CO₂ atmosfèric repercutirà en un major contingut de carboni edàfic, per l'efecte d'adobat carbònic que incrementarà la fotosíntesi i per tant les entrades de RO al sòl (Jastrow *et al.*, 2005; Hyvönen *et al.*, 2007; Fischlin

18. «Detener la pérdida de biodiversidad para 2010», i més endavant, «Respaldar los servicios de los ecosistemas para el bienestar humano» (COM(2006) 216 final).

et al., 2007). Tanmateix, altres factors, notablement el canvi en el règim d'humitat en el sentit d'una major aridesa, poden afectar la producció de biomassa en sentit contrari, per la qual cosa els efectes positius en la MO emmagatzemada són qüestionables. A més, els estudis que analitzen aquestes interaccions són molt limitats, cosa que fa necessària més recerca en aquest sentit. La modelització de la producció de biomassa i de MOS amb el model CENTURY, combinant el canvi climàtic i l'augment de CO_2 en diferents biomes de pastures arreu del món va resultar en que només els sòls de les sabanes tropicals esdevenen petits embornals de carboni (Parton *et al.*, 2006). Albaladejo *et al.* (1998) van observar una disminució d'un 35% en el COS associada a una menor estabilitat estructural i a un augment de la compactació després d'eliminar la vegetació en un ambient semiàrid de Múrcia, fet que atribueixen a menys entrades de biomassa i a una major temperatura del sòl.

L'augment de la temperatura afecta la cinètica de les reaccions fotosintètica i de respiració del sòl en el mateix sentit, augmentant tant l'entrada per producció de biomassa com la sortida per

mineralització. El balanç total, però, sembla a favor de la segona, més sensible als canvis tèrmics, tal com s'ha demostrat en diferents experiments (Lenton i Huntingford, 2003). Malgrat això, no hi ha un consens en com alguns factors, com poden ser la temperatura de partida (Kirschbaum, 1995) o dels diferents tipus de MO, afecten la seva mineralització. En un rang de sòls pirinencs a altituds de 1.845 a 2.900 m, García-Pausas *et al.* (2008) han observat menors índexs de mineralització als sòls més càlids i més humits, i també a horitzons subsuperficials, encara que en aquest darrer cas s'atribueix a la manca de nitrogen. En aquest sentit, cal considerar l'augment de la disponibilitat de N degut a la mineralització, que implicaria una retroalimentació positiva en el COS (Rustad *et al.* 2001; Johnson *et al.* 2000), tot i no ser sostenible (Luo *et al.*, 2004). Els canvis previstos en el COS a Europa (1990-2080), incloent-hi l'augment de la producció primària neta, mostren augments generalitzats a Europa, molt menors a les zones meridionals, on la vall de l'Ebre seria de les úniques regions en què disminuiria fins a un 5% menys (Smith *et al.*, 2006). En un dels pocs treballs en

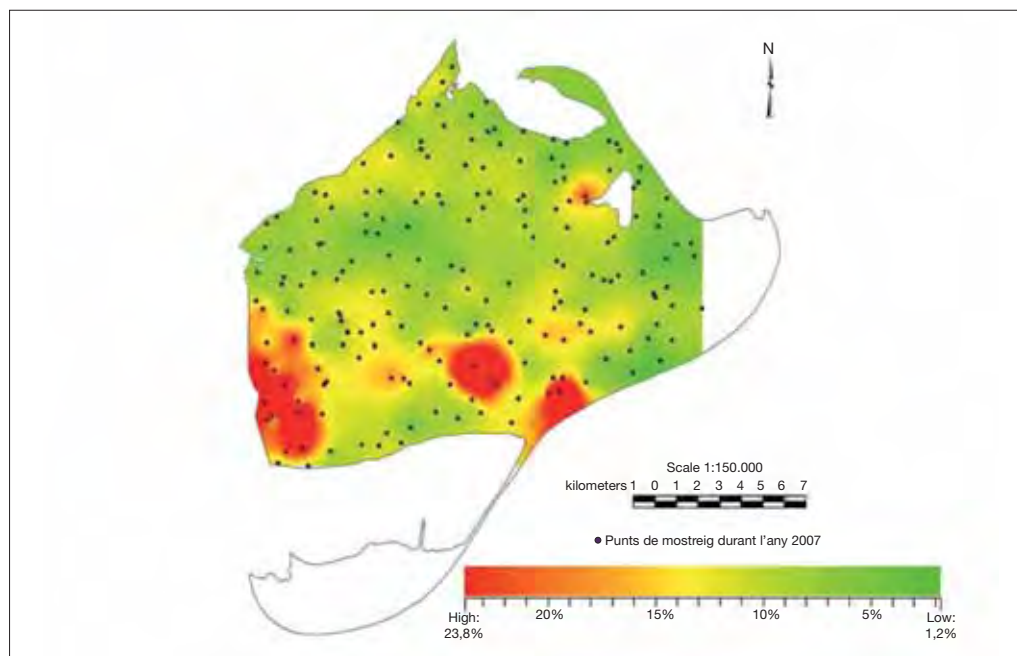


Figura 10. Distribució de MO als horitzons superficials, en percentatge, en un mostreig realitzat el 2007 al Delta de l'Ebre.

què s'ha mesurat el contingut de MO a les terres de l'Ebre, s'ha observat una distribució irregular amb una major concentració a les àrees que corresponen a surgències d'aigua dolça o salobre com ullals i llacunes amb torberes (figura 10).

Una major aridesa implica una reducció de la mineralització a la majoria dels sòls sota condicions oxidants, però un augment de la descomposició de la MO a sòls sota règims àquics, pel pas a condicions menys reductores o oxidants. Aquests darrers sòls, entre els que es troben les torberes, són precisament els que emmagatzemen més MO, per la qual cosa, malgrat que ocupin poca superfície, són importants pel seu valor ecològic.

En general, els efectes combinats de l'augment de la temperatura i del dèficit hídric són difícils de separar i resulten en una pèrdua de MO. Al Regne Unit s'ha atribuït la pèrdua del 15% de COS en els darrers 20 anys a aquest fet (Schulze i Freibauer, 2005). Les mesures de fluxos de CO₂ amb covariància turbulenta a Europa (Ciais *et al.*, 2005; Reichstein *et al.*, 2006) mostren la mateixa tendència i indiquen que la durada dels períodes extrems pot conduir a un comportament catastròfic, però no continu, de la pèrdua de MOS.

11.5. Canvis d'usos del sòl i efectes sobre el canvi climàtic

Una de les actuacions humanes que més impacte ambiental genera sobre el territori és el canvi en els usos del sòl. A continuació es revisen els efectes més rellevants d'algunes d'aquestes transformacions.

11.5.1. Transformacions en regadiu

Malgrat la manca de dades concloents, el reg és una de les pràctiques que incrementa el segrest de carboni a escala de finca (Follett, 2001; Lal, 2001; Dormaar i Carefoot, 1998; Coneth *et al.*, 1998; Gillabel *et al.*, 2007; Lal *et al.*, 1998). El reg augmenta la producció de biomassa dels cultius, aportant carboni edàfic com a residus de collita. Per altra banda, l'aigua de reg promou l'activitat microbiana i la mineralització i per tant augmenta l'emissió de CO₂ a l'atmosfera. Aquests dos processos actuen en competència i fan difícil l'avaluació del reg com a factor determinant en els balanços de carboni del sòl.

Alguns experiments a Àustria mostren una pèrdua de 2,4 Mg C/ha en 21 anys en sistemes regats comparats amb sistemes de secà (Dersch i Bohm, 2001), a causa d'una major mineralització durant períodes secs. A més, els costos energètics del bombeig i distribució de l'aigua i les emissions de carboni associades no sempre es tenen en compte en els balanços de carboni en sistemes agrícoles (Schlesinger, 1999). També s'emet CO₂ per desgasificació de l'aigua de reg en aflorar des dels aqüífers (Schlesinger, 1999; 2000).

En una comparació dels continguts de carboni orgànic de sòls de les Terres de l'Ebre, Grañana i Fonollosa (2009) observen que els valors mitjans dels sòls de regadiu tendeixen a ser majors que els de secà, considerant diferents fondàries (taula 11), si bé en aquesta zona, el nombre de mostres de secà és força major que el de les de regadiu. Aquests resultats són semblants als reportats per Costa (2004) a sòls de la franja occidental de Lleida i en la figura 1. Cal tenir en

Profunditat (cm)	Reg/secà	Mitjana	Desv. est.	Nre. de perfils
0-15	Regadiu	31,6	15,2	106
	Secà	30,5	13,3	1.135
0-30	Regadiu	65,3	29,5	70
	Secà	50,8	25,8	638
0-50	Regadiu	103,3	54,2	40
	Secà	64,3	33,9	412
0-100	Regadiu	162,81	112,5	24
	Secà	93,1	51,8	179

Taula 11. Comparació de continguts de C orgànic (Mg/ha) en sòls de secà i de regadiu de les Terres de l'Ebre. El diferent nombre de perfils considerats per a cada profunditat depèn de la fondària del sòl i de la disponibilitat d'anàlisis.

Font: Grañana i Fonollosa, S. 2009.

compte, però, que aquest tipus d'anàlisi és limitat per altres factors que afecten els resultats, com l'historial de les parcel·les, els tipus de sòls que es posen en reg, els sistemes de regatge, etc.

11.5.2. Reforestacions

La recuperació dels boscos o la expansió d'aquests en terrenys erms o agrícoles suposa un increment progressiu del carboni acumulat a la biomassa vegetal. Paral·lelament es produeix el desenvolupament dels horitzons orgànics del sòl a mesura que les restes vegetals es disposen sobre la superfície i, amb un cert retard, es van incorporant als horitzons minerals, especialment a l'horitzó A. El temps de residència del C_{org} acumulat al sòl és diferent per a cada tipus d'horitzó i depèn de la composició de les restes vegetals i de la MO afegida, dels processos de degradació i dels mecanismes d'estabilització de la MO a cadascun d'ells.

En una aforestació a partir de terrenys agrícoles, els horitzons orgànics són de nova formació i es desenvolupen a mesura que progressa la coberta arbàdica. En canvi, l'horitzó A ja conté una certa proporció de carboni heretada de la situació anterior, al que es va incorporant lentament el procedent de la vegetació forestal, sigui per descomposició de les arrels o per translocació des dels horitzons orgànics. En una reforestació, la situació de partida pot ser més heterogènia, amb indrets que han mantingut els horitzons orgànics i d'altres on han desaparegut

completament, i fins i tot l'horitzó A pot haver patit erosió.

Cada tipus de bosc té una dinàmica diferent en la formació d'horitzons orgànics i, per tant, en l'acumulació de C. Com exemples de forestacions espontànies a Catalunya tenim la situació d'abandonament de terrenys agrícoles a les zones de muntanya que es va produir al llarg del segle passat i que va afavorir l'expansió de les pinedes sobre els antics bancals de conreu. Així, per exemple, en un estudi realitzat al Pallars Sobirà (Jiménez-Bargalló, 2004) sobre una superfície d'unes 3.000 ha es van mesurar acumulacions importants de carboni als horitzons del sòl quan els boscos s'havien desenvolupat sobre camps que feia més de 50 anys que no es cultivaven (taula 12). En aquesta zona la major reserva de carboni la tenen els sòls forestals a zones que no han estat mai cultivades, seguit dels sòls de prats alpins i subalpins. La regeneració natural dels boscos sobre antics bancals de cultiu abandonats fa més de 50 anys ha permès la recuperació progressiva de gairebé la meitat de les reserves de carboni en aquests sòls. Els sòls dels prats de dall contenen una reserva de carboni semblant a la dels boscos secundaris, si bé la trobem emmagatzemada a l'horitzó A, és a dir en formes més estables que als horitzons orgànics, i per tant menys vulnerable als efectes del canvi climàtic o de perturbacions com cremes prescrites o incendis forestals. En aquestes zones de muntanya, el manteniment dels prats

Tot el perfil	Mínim	Màxim	n	Mitjana	Desv. est.
Sempre forestal	42,6	276,4	20,0	111,4	44,1
Prats naturals	32,1	159,8	13,0	74,2	32,9
Prat de dall	32,0	66,5	3,0	54,0	14,6
Bosc, abans conreu	39,7	63,5	5,0	51,0	8,9
Conreu actual	19,3	40,8	6,0	30,9	8,5
Horitzó A	Mínim	Màxim	n	Mitjana	Desv. est.
Sempre forestal	7,2	60,8	20,0	26,5	11,4
Prats naturals	12,5	159,8	13,0	62,0	33,8
Prat de dall	16,8	22,7	3,0	20,7	2,6
Bosc, abans conreu	4,5	56,8	5,0	22,5	15,1
Conreu actual	2,5	25,1	6,0	12,4	6,4

Taula 12. Reserves de C orgànic als sòls (Mg COS/ha) de la Coma de Burg (Pallars Sobirà) considerant el conjunt d'horitzons orgànics i minerals, o bé únicament l'horitzó A.

Font: Jiménez-Bargalló, 2004.

de dall pot ser una mesura de gestió encertada per preservar el carboni del sòl en formes més estables que als horitzons orgànics o la biomassa forestal.

La comparació de les reserves de carboni als horitzons A de l'estudi anterior permet una visió més precisa de l'efecte del conreu sobre la reducció de les reserves de C, respecte als 27,1 Mg COS/ha dels sòls forestals antics o als 62,0 dels umbrisòls de l'estatge alpí. Les dades anteriors també permeten deduir que les reserves de carboni als sòls forestals es concentren principalment als horitzons orgànics, cosa que les fa més vulnerables.

En un ampli estudi de pastures del Pirineu, Garcia-Pausas *et al.* (2007) observen que el contingut de carboni als horitzons A dels sòls de pastures abandonades era menor que el de les que es mantien actives, suggerint la importància del pasturatge en la conservació del carboni d'aquests sòls.

11.5.3. Restauracions de terrenys degradats

La restauració dels sòls degradats¹⁹ ofereix la possibilitat de recuperar els sistemes naturals de les zones afectades o donar un millor ús als terrenys abandonats. En uns casos la recuperació de les terres malmeses és obligatòria d'acord amb normatives sectorials, com la restauració dels espais afectats per activitats extractives o la restauració dels talussos de les noves vies de comunicació, amb la finalitat de protegir-los de l'erosió i d'integrar-los a l'entorn natural de la zona afectada. En altres casos, com els terrenys afectats per incendis forestals, les possibilitats d'actuació es limiten a afavorir la regeneració natural del bosc o la reforestació de les zones més vulnerables a l'erosió i en la gestió de les restes vegetals cremades. En qualsevol cas, la rehabilitació dels terrenys degradats ofereix la possibilitat de recuperar funcions ecològiques, entre elles el segrest de carboni al sòl i la millora de la seva capacitat

de magatzem d'aigua, aspectes importants per a la mitigació dels efectes del CC.

La restauració de les activitats extractives a Catalunya és un dels casos millor documentats i amb més possibilitats d'actuació. Les empreses explotadores estan obligades a presentar un Programa de Restauració previ a l'obtenció del permís d'explotació, que especifica les característiques de la restauració que hauran de fer a les zones afectades, com el condicionament del terreny, el control de les aigües d'escorrentiu, el sòl que restituiran i les previsions de revegetació. Actualment, la superfície afectada per activitats extractives a Catalunya és de 15.073 ha, de les que s'estima que estan restaurades 3.180 ha i unes 1.500 ha més en procés de restauració (DMAH, 2009). Atès que el DMAH és el que supervisa els programes de restauració i vetlla per la seva correcta execució, no seria difícil incorporar als nous projectes la recomanació d'afavorir el segrest de carboni a les zones restaurades amb mesures com l'aplicació de major gruix de sòl o de sòls prou fèrtils que permetin un bon desenvolupament de la coberta vegetal, cosa que contribuiria a incrementar les reserves de carboni a la biomassa i al sòl a mitjà termini.

Estudis realitzats per avaluar el progrés de la restauració en una àmplia mostra de pedreres de Catalunya, en els que es van comparar diferents tipus de substrats i de vegetació, van posar de manifest que la concentració de COS restaurats era major allà on s'havia afavorit una bona revegetació mitjançant l'aplicació d'esmenes al sòl o sembres variades i s'assolien en un període de temps inferior a 15 anys unes reserves de carboni properes a la meitat de les que hi ha als sòls naturals no pertorbats (figura 11). Si bé és previsible que el ritme d'acumulació de carboni al sòl decreixi progressivament a mesura que la vegetació s'apropi a la de l'entorn de les pedreres, la rehabilitació dels terrenys degradats permet un bon emmagatzematge de C.

En experiències de rehabilitació de sòls en runams de mines de carbó del baix Segrià, s'han mesurat continguts de COS de 6,3 a 7,9% al cap de 2 anys d'un únic tractament dels estèrils amb purins de porc i palla de cereal (Salazar *et al.*, 2009). Tot i que aquests resultats estan parcialment emmascarats pel carbó mineral present als

19. Entenem per terrenys degradats aquells que presenten processos de degradació intensos del sòl i de la vegetació, com per exemple els afectats per l'erosió, la contaminació, la compactació, la pèrdua de matèria orgànica o la denudació completa del terreny per treballs de construcció o activitats extractives.

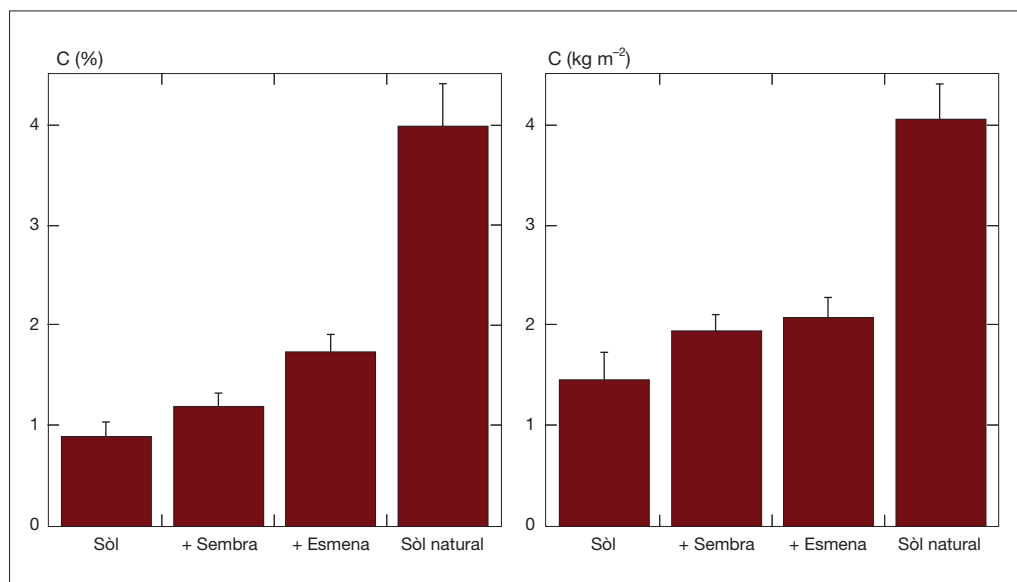


Figura 11. Quantitat de C orgànic [C (%)] a la terra fina ($\phi < 2 \text{ mm}$) i estoc de C [C (kg m^{-2})] de sòls de zones restaurades de pedreres de Catalunya en els darrers 2 a 12 anys, en comparació amb els sòls naturals de l'entorn. Es comparen tres situacions habituals: restauració amb sòls no esmenats (Sòl), restauració amb sòls no esmenats i sembra (+ Sembra), o restauració amb terres esmenades amb fangs EDAR o compost (+ Esmena).

estèrils, la diferència entre tractaments indica que part d'aquest carboni és deguda a una major producció de biomassa (Salazar *et al.*, 2009), i que representa, en els sòls rehabilitats de la zona, un emmagatzematge net de carboni de 30 a 50 Mg/ha (Cruz *et al.*, 2008)

Un altre exemple interessant ens mostra l'acumulació progressiva de carboni a una plan-

tació de pins i al sòl d'una pedrera on es van assajar tres formes de restauració (figura 12): (1) plantació directa de pins sobre el substrat pedregós (regolita), (2) addició de terra sobre el substrat (terra sola) o, (3) de terres esmenades amb fangs EDAR (terra esmenada). Paral·lelament, els pins mostren un creixement molt superior sobre els sòls adobats, fet que també es

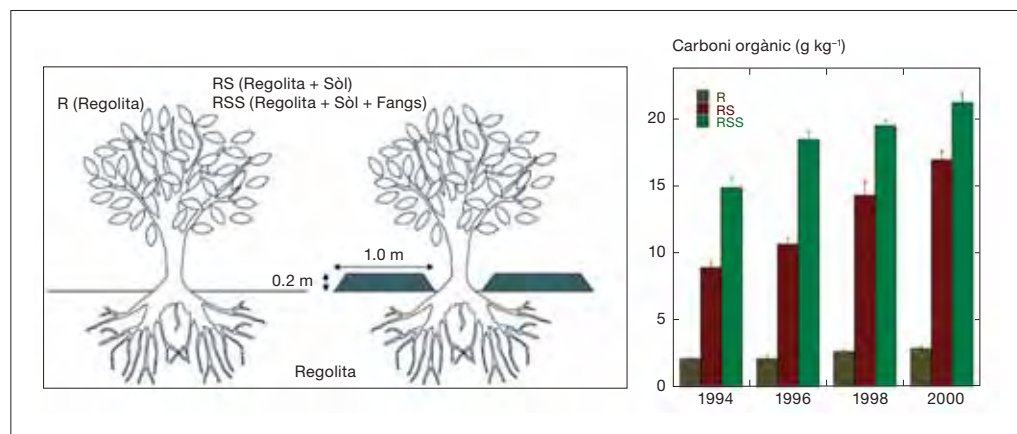


Figura 12. Acumulació de C a sòls de plantacions de pins d'una pedrera de Tarragona. Es compara la plantació directa de pins sobre el substrat pedregós (R), l'addició de terra sobre el substrat (RS) o de terres esmenades amb fangs de depuradora (RSS).

correspon amb una major biomassa de plantes herbàcies, que van aportant nova MO al sòl. Les taxes d'acumulació de carboni al sòl (kg C/m^2 any) en els sis primers anys després de la restauració van ser de 0,07 en el cas del regolita, de 3,13 per a la terra sola, i de 4,03 en el cas de la terra esmenada. Paral·lelament, una quantitat significativa de carboni va quedar emmagatzemat també en forma de biomassa. Així, per exemple, els arbres plantats sobre regolita mostren una alçada mitjana de 1,5 m als 20 anys d'edat, mentre que la dels arbres plantats sobre terra i terra esmenada era de 3,1 i 6,2 m, respectivament,

11.6. Principals activitats en el sòl que influeixen en el canvi climàtic

En aquest apartat només es tractaran els efectes del foc sobre el sòl i el reciclatge de residus. Altres activitats, com el conreu del sòl, les reparcel·lacions i els anivellaments de terres, la fertilització i el regatge són aspectes més propis de l'agricultura que no seran tractats en aquest capítol.

11.6.1. Efectes del foc sobre el sòl

El foc, espontani o provocat, té dos efectes contraposats sobre el sòl. Per un costat, la combustió de la vegetació i dels horitzons orgànics comporta una forta reducció de les entrades de MO al sòl i un efecte fertilitzant temporal de les cendres dipositades. Gairebé mai, però, la combustió de la biomassa és completa, de manera que queden restes mig cremades o reescalfades que alliberen compostos orgànics làbils i a més, s'acumula carbó en partícules de diferents mides que, per la seva composició química, esdevenen carboni molt recalcitrant. Considerant que el foc ha estat present des de molt antic en les pràctiques agrícoles tradicionals i que ha afectat repetidament a molts dels nostres sòls forestals, no és estrany que aquestes formes de carboni altament recalcitrants es trobin en quantitats detectables en els sòls mediterranis.

Els efectes directes del foc sobre el sòl han estat amplament descrits (Úbeda *et al.*, 2005) i es limiten als primers centímetres per la relativa baixa transmissió de la calor cap a l'interior del sòl. Allà on s'assoleixen temperatures superiors als 150°C a l'interior del sòl, en un medi confi-

nat com són els porus, es poden produir reaccions de piròlisi que alliberen compostos orgànics volàtils, però que deixen un residu sòlid més estable que el material de partida. Aquesta MO pirogènica (*biocarbó*, *carbó negre*), representa una font de carboni estable al sòl. Per una altra part, estable no vol dir inert, ja que aquestes formes de carboni tenen gran capacitat d'absorció d'aigua, nutrients i compostos orgànics senzills, actuant com a partícules de «carbó actiu» dins del sòl, de manera que, recentment, es promou el seu ús com a esmena orgànica o com a base de fertilitzants d'alliberació lenta.

Si, com s'afirma, el canvi climàtic comportarà un risc d'increment dels incendis forestals, és d'esperar que repercuteixi en la quantitat i en la qualitat del C_{org} emmagatzemat al sòl.

11.6.2. Reciclatge de residus orgànics (RO): incorporació de carboni i de compostos nitrogenats

La Comunicació de l'EC sobre *L'Estratègia Temàtica per a la Protecció del Sòl* —COM(2006) 231 final— insta a reciclar els RO com a mesura per a combatre la pèrdua de MO del sòl, afegeix però, que no totes les formes de MO poden servir per a lluitar contra aquesta amenaça i continua dient: «Hi ha MO estable al compost i els fems, així com, en menor mesura, als fangs de depuradora i els purins, i és aquesta fracció estable la que contribueix a les reserves d'humus del sòl i a la consegüent millora de les propietats del sòl».

La diversitat de RO que s'apliquen al sòl, es pot diferenciar i agrupar atenent a dos criteris derivats de la seva composició i característiques: 1) l'estabilitat de la MO i 2) el contingut i naturalesa del N que contenen. Aquests criteris són al mateix temps d'enorme interès a l'hora de decidir-ne l'estratègia de valorització al sòl —com esmena orgànica i/o com a fertilitzant nitrogenat— i també per a predir tant el possible impacte ambiental —alliberament de compostos nitrogenats inorgànics— com la seva possible contribució a la mitigació del canvi climàtic pel sòl (segregat de C). Cal remarcar però, que les metodologies analítiques per a avaluar-ne l'estabilitat segueixen sent una qüestió d'interès (Rovira i Vallejo, 2002 i 2007; Soliva *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2008; López *et al.*, 2009).

L'estabilitat de la MO que contenen els atorga un enorme valor com a esmena orgànica²⁰. El contingut i la disponibilitat del N, els confereix valor com a productes fertilitzants²¹. La majoria d'ells contenen també diferents quantitats d'altres elements nutritius²², cosa que permet assignar-los un valor afegit, que aquí no es considerarà. D'acord amb aquests dos criteris es pot establir una seqüència amb les MOR que s'apliquen al sòl amb més freqüència i extensió a Catalunya (figura 13).

L'origen dels RO, el tipus de tractament sofert i el grau de maduresa en el moment d'aplicar-los condicionen moltíssim el seu comportament al sòl: l'acumulació de MO i l'alliberament de N_{inorg} per mineralització del N_{org} . Això fa que les dejeccions ramaderes no puguin tractar-se de la mateixa manera i calgui diferen-



Figura 13. Seqüència de matèries orgàniques de residus segons el seu potencial de valorització com a esmena orgànica o com a fertilitzant nitrogenat.

20. Esmena procedent de materials amb carboni d'origen vegetal o animal, utilitzada fonamentalment per a mantenir o augmentar el contingut en MO del sòl, millorar les seves propietats físiques i millorar també les seves propietats o activitat química o biològica (RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes).

21. Producte utilitzat en agricultura o jardineria que, pel seu contingut en nutrients, facilita el creixement de les plantes, augmenta el seu rendiment i millora la qualitat de les collites o que, per la seva acció específica, modifica, segons convingui, la fertilitat del sòl o les seves característiques físiques, químiques o biològiques. (RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes).

22. Element químic essencial per a la vida vegetal i el creixement de les plantes. A més del carboni, l'oxigen i l'hidrogen procedents especialment de l'aire i de l'aigua, els elements nutrients es classifiquen en: principals (nitrogen, fòsfor i potassi), secundaris (calci, magnesi, sodi i sofre) i micronutrients (bor, cobalt, coure, ferro, manganès, molibdè i zinc), essencials per al creixement de les plantes, encara que en petites quantitats si es compara amb els nutrients principals o secundaris. (RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes).

ciar-ne dos grups: els fems²³ i els purins²⁴, cadascun amb unes característiques pròpies que són contràries respecte als criteris establerts anteriorment. El mateix passa amb els fangs d'EDAR, que han de diferenciar-se segons el tipus de tractament aplicat (biològic: aeròbic i anaeròbic i físic: l'assecatge tèrmic que reben alguns posteriorment), doncs aquest repercuteix de forma important sobre les característiques del producte final i per tant en condiciona la valorització.

En general, es pot afirmar que els materials situats en les posicions més altes de la figura 13, en tenir una MO més estable, poden aplicar-se en quantitats elevades i tenen un elevat potencial d'esmena (figura 14); la seva mineralització al sòl és molt lenta inicialment, després creix alliberant N_{inorg} però de forma sostinguda (figura 15). En canvi, els que ocupen les posicions inferiors de la figura 13, tenen MO poc estable que es mineralitza ràpidament alliberant N_{inorg} (figura 15), posseint per tant un elevat potencial fertilitzant. Els purins, a més, tenen un contingut més alt en N_{inorg} ($N-NO_3$ i/o $N-NH_4$) que transfereixen ràpidament a l'ambient, incorporant-se bé a les aigües subterrànies o a l'atmosfera. Materials situats en una posició intermèdia, com és el cas de la major part dels fangs de la indústria alimentària (lletera, cervesera, escorxadors), en tenir un alt contingut proteic, són molt degradables i al sòl alliberen el N molt ràpidament.

És evident doncs que no tots els RO poder ser valoritzats de la mateixa manera, atès que el seu valor rau en les característiques intrínseques que tenen i aquestes són les que s'han de considerar per a decidir-ne la valorització –al sòl, com a esmena o com a fertilitzant, o com a font d'energia–; només així es pot esperar que el seu

23. Adob format pel jaç dels animals domèstics barrejat amb llurs excrements i descompost per la fermentació (segons el DIEC2). Adob constituït pels excrements dels animals domèstics d'una explotació agrícola, barrejats amb llur jaç, després d'una fermentació més o menys completa (segons el GDLC).

24. Líquid format per excrements, orina i aigua de neteja de les corts dels porcs, generalment amb un contingut d'aigua superior al 80%, que, emprat com a adob, es comporta més com un fertilitzant mineral que orgànic (segons el DIEC2). No recollit en el GDLC.

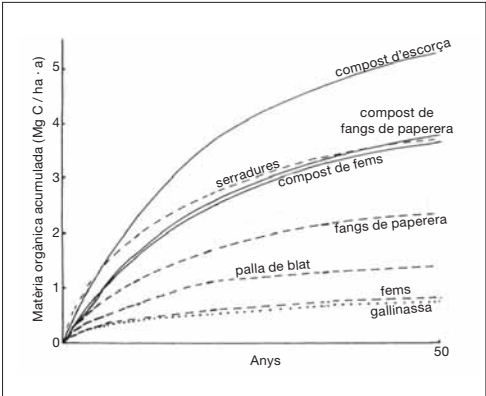


Figura 14. Acumulació de MO al sòl per aplicacions successives (d'1 Mg sms per hectàrea i any) de diversos RO durant més de 50 anys (modificat a partir de Shiga et al., 1997).

aprofitament sigui sostenible. En la primera columna de la taula 13 es relacionen les valoritzacions més habituals que se'ls assigna i, per alguns d'ells, s'indiquen les valoritzacions més adients, matisant-ne el grau d'adequació. Aquest rànquing s'estableix considerant també d'altres raons conjunturals importants, com

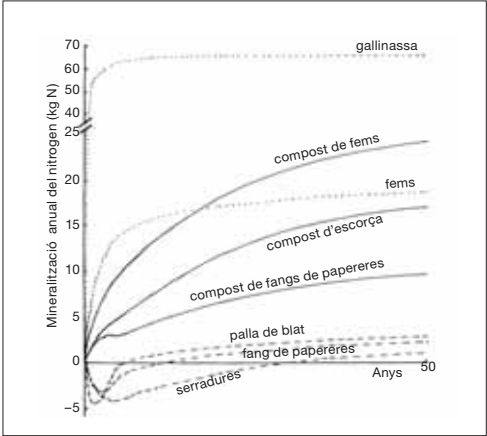


Figura 15. Canvis en la quantitat de N mineralitzat anualment, procedent d'aplicacions successives (d'1 Mg sms per hectàrea i any) de diversos RO durant més de 50 anys d'aplicació (modificat a partir de Shiga et al., 1997).

són: un producte pot ser tan valuós per a un ús que no se n'hi pot assignar cap altre de menys exigent o, al contrari, ser poc valuós per a un determinat ús per tenir alguna característica limitant²⁵.

	Fems vaquí/boví	Compost divers	Fangs tractament biològic	Fangs assecatge tèrmic	Restes forestals fresques	Purins -digerits i no tractats-
Agrícola	+++	+++	++	–	–	++
Jardineria	+	+++	–	–	+	–
Restauració de sòls degradats	+	++	+++	+	+	+
Noves plantacions	+	++	+	+	+	–
Revegetació d'obra pública	+	++	+++	+	+	–
Gespa esportiva	+	+	–	–	–	–
Encoixinament ¹	–	–	–	–	+++	–
Biofiltre	–	+++	–	–	++	–
Supressor de fitopatògens	–	++	–	–		–
Preparació de substrats	–	++	–	–	+	–
Recuperació energètica	–	–	–	+++	+++	++

Taula 13. Valoritzacions més aconsellables per a alguns residus orgànics.
+++ molt adequat, ++ adequat, + poc adequat, - inadequat.
¹ Tècnica que consisteix de cobrir el sòl amb diferents materials per protegir-lo i crear millors condicions per al conreu (mulching).

25. Per a la valorització al sòl: pH, salinitat, presència de contaminants o d'impropis, etc. Per a la valorització energètica: capacitat calorífica inicial, generació d'electricitat, calor, gas, etc.

La digestió anaeròbia de RO permet transformar el C_{org} en biogàs (100-150 m³/mg de matèria seca, generen 150-250 kWh/Mg) que pot emprar-se com a substitut dels combustibles fòssils (Favoino, 2008). Aquest procés, s'està estenent a Catalunya (Teira, 2008) com a sistema per a la valorització dels purins juntament amb residus de la indústria alimentària (co-digestió). El líquid final digerit, el digestat, per la seva riquesa en N_{inorg} també es valoritza com a fertilitzant tal com es duu a terme, habitualment, amb els purins que no han sofert aquest tractament previ.

Segons un informe de l'AEM, el potencial de bioenergia a partir dels RSU és de 20 Tg eq., que només representaria prop del 7% de totes les energies renovables el 2020, suposant que tots els residus actualment dipositats als abocadors fossin disponibles per a la incineració amb recuperació d'energia i que els residus a compostar fossin objecte d'una digestió anaeròbia prèvia al compostatge (Llibre verd sobre la gestió dels bioresidus a la UE [COM(2008) 811 final]).

La recollida selectiva de restes vegetals de jardins i parcs (residus verds o vegetals) que es realitza des de fa uns anys a Catalunya (Soliva, 2001; Favoino *et al.*, 2003; Soliva *et al.*, 2003) ha permès valoritzar-los mitjançant la seva incorporació en el procés de compostatge juntament amb altres residus (FORM, fangs, etc.). La incorporació de materials rics en lignina i lignocel·lulosa en aquest tractament ha contribuït a millorar el procés i la qualitat del producte final (Soliva, 2001). En general, els residus forestals s'aprofiten energèticament i se'n valora la producció de gasos d'interès energètic i la calor.

Darrerament mitjançant l'aplicació de tecnologies eficients (basades, entre d'altres imbricats processos, en la piròlisi o escalfament en un ambient amb reducció d'oxigen) s'està desenvolupant el tractament de residus forestals amb la finalitat d'obtenir un benefici múltiple (Fowles, 2007; McHenry, 2009; Sohi *et al.*, 2009; entre altres). Els productes de la piròlisi varien en funció del RO de partida, el temps d'escalfament i la temperatura, però de manera general es pot afirmar que són essen-

cialment gasos i olis que poden ser utilitzats com a combustibles i un residu sòlid enriquit en carbó amb una estructura que resisteix la degradació química i microbiana. El seu grau d'estabilitat és variable però alt, té un elevat potencial global per a segrestar CO₂ (109 Mg any⁻¹) i conserva cap a un 50% del carboni inicial de la biomassa sotmesa a tractament (Lehmann *et al.*, 2006). A més d'incorporar-lo en el mercat del carbó, se n'està estudiant la valorització al sòl per a diferents usos²⁶ ateses les característiques que presenta, presumiblement encara millorables en el tractament a baixes temperatures. En principi, la seva incorporació al sòl contribuiria, per una banda, a mitigar les emissions difuses de GEH i, per l'altra a augmentar el potencial d'embornal de carboni dels sòls (Chan *et al.*, 2007; Cheng *et al.*, 2006 i 2008; Lehmann, 2007a; Lehmann and Joseph, 2009; entre d'altres). El benefici per als sòls agrícoles encara està en discussió (Nguyen *et al.*, 2009; Novak *et al.*, 2009; Sohi *et al.*, 2009), però molt probablement la seva valorització per restaurar sòls degradats pot representar una alternativa important d'aplicació a Catalunya, cas que es generessin residus sotmesos a aquest tractament. En aquest sentit, aquesta tecnologia permetria l'aprofitament de restes forestals de neteges i esbrossades de boscos que actualment s'hi acumulen i constitueixen un perill per a possibles incendis.

En el decurs dels darrers anys s'han realitzat estudis a diferent escala, basats en l'anàlisi del cicle de vida (ACV), per a avaluar l'impacte ambiental de les diferents opcions disponibles per a la gestió dels residus —dipòsit en abocador, incineració, compostatge i reciclatge de materials. L'EC ha pres diverses iniciatives en aquest sentit (EC, 2001; EC, *et al.*, 2007). Els estudis realitzats contenen molta informació sobre els costos econòmics i ambientals dels diferents sistemes de gestió, però l'avaluació de la reutilització al sòl és precària i s'ajusta poc a la realitat. Així és que el JRC està elaborant directrius per

26. Biochar Management: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/research/biochar/biocharproject.html> [juny 2009]

a la seva utilització en la gestió dels residus biodegradables²⁷.

Els estudis realitzats fins ara per a avaluar impactes de diferents sistemes de gestió, segons la citada Comunicació (COM(2008) 811 final), arriben, en general, a resultats diferents segons les condicions locals, però mostren en gran mesura un patró comú que essencialment depèn de:

1) La quantitat d'energia que es pot recuperar, paràmetre decisiu, que atorga un clar avantatge a les opcions d'alta eficiència energètica.

2) La font d'energia que se substitueix per l'energia recuperada. Quan l'energia substituïda prové principalment de combustibles fòssils, els beneficis de recuperació d'energia del sistema de tractament són majors. No obstant això, si l'energia substituïda s'obté en gran mesura de fonts de baixes emissions, com la hidràulica, l'energia recuperada dels bioresidus presenta, evidentment, beneficis ambientals menys importants.

3) La quantitat, la qualitat i la utilització del compost reciclat i dels productes que se substitueixen mitjançant la utilització del compost. Quan el compost s'usa per a jardineria o com a cobertura d'abocadors, els beneficis ambientals són molt limitats. No obstant, quan un compost d'alta qualitat substitueix els adobs industrials, els beneficis seran en general importants. La substitució de la torba genera, així mateix, elevats beneficis ambientals.

4) El perfil de les emissions d'instal·lacions de tractament biològic. Les instal·lacions poden tenir patrons d'emissió molt diferents, amb repercussions ambientals més o menys importants. Els estudis mostren, en particular, la importància de les emissions de N_2O i NH_3 .

A efectes de la capacitat de segrest de carboni per aplicació de bioresidus al sòl, es pot indicar que diferents estudis corroboren que entre un 8 i un 6% del carboni del compost aplicat al sòl s'hi mantindrà després de 100 anys (Favoio, 2008).

Sens dubte, existeix gran dificultat tant per a quantificar els diversos aspectes associats a cada tecnologia com per a valoritzar els productes que generen. Favoio (2008) i Favoio and Hogg (2008), discuteixen les metodologies emprades en l'ACV, posant en evidència les limitacions, errades i/o mancances de les avaluacions; així mateix, aporten criteris i metodologies per millorar-les²⁸.

A Catalunya, aquesta eina de gestió ambiental (ACV), s'ha aplicat tant per a contrastar impactes entre diferents sistemes de gestió de residus (Güereca *et al.*, 2006) com per a avaluar els efectes de la seva valorització en sistemes agrícoles: sota conreu en hivernacle (Martínez-Blanco *et al.*, 2009) i per comparar els efectes derivats de l'ús de compost respecte a l'ús de fertilitzants de síntesi (Antón *et al.*, 2005), cas en què no es van detectar diferències en termes de producció i qualitat. En cap d'aquests estudis però, no s'expliciten els efectes sobre el CC. Favoio (2008) i Soliva *et al.* (2008) a partir del contingut en nutrients (N, P i K) de composts d'origen diferent, estimen la reducció d'emissions de GEH per cada Mg de compost aplicat al sòl i conclouen, respectivament, que la reducció representa 30-40 i 50-60 kg CO_2 eq, les emissions que es produirien en la fabricació dels fertilitzants continguts al compost.

11.7. Normativa relativa al sòl amb possible incidència sobre el canvi climàtic

Que el sòl sigui un terme polisemàntic amb una multitud de significats, en funció de l'usuari i de la disciplina que l'utilitza, explica la dificultat de recopilar i analitzar la legislació generada (Felipó i Boixadera, 2003) entorn d'aquest recurs natural limitat (Felipó, 2005). La proliferació de

28. La dinàmica en el temps per a poder estimar-ne les conseqüències ambientals; l'influència del tipus de sòl, de bioresidus aplicats i de les condicions climàtiques; l'estalvi energètic per a sintetitzar els fertilitzants que contenen els bioresidus; la reducció de les emissions de compostos nitrogenats a l'atmosfera i/o a les aigües subterrànies; el valor associat a la MO al sòl (segrest de C, la reducció del consum d'energia en les labors del sòl, la reducció del consum d'aigua, l'augment de la retenció hídrica i reducció de l'erosió i l'escolament, l'estalvi en el consum de pesticides); l'estalvi en la substitució de la torba pel compost, etc.

27. LCA biowaste: <http://viso.jrc.ec.europa.eu/lca-biowaste/> [juny 2009].

normes, la seva complexitat i les múltiples interrelacions existents entre elles són fets palpables (Felipó, 2007).

En els darrers vint anys, a Europa, s'han aprovat normes molt diverses per a conservar i protegir l'estat del medi ambient. Encara no hi ha, però, un marc jurídic específic per a la protecció del sòl, tal com existeix per a protegir altres components de l'ambient —l'aire, l'aigua o la biodiversitat—. Malgrat aquesta important mancança, la Unió Europea (UE) considera el sòl indirecta, parcial o transversalment en distinta normativa ambiental i, com és evident, també en el marc de la política agrària i forestal i del desenvolupament rural, la majoria de vegades amb la finalitat de conservar-lo o protegir-lo.

Altrament, arran de les directius —plans, programes i estratègies— fixades per a mitigar el CC, s'ha produït una expansió legislativa important en els diferents nivells administratius —UE, Espanya i Catalunya—. Les normes establertes, fins ara, pretenen essencialment reduir les emissions de GEH incloses dins la Directiva de comerç d'emissions i afectades per la Ley 1/2005 (RD-L 5/2005). Poca cosa s'ha fet per a protegir i potenciar les existències del carboni als sòls més enllà del que fixen les bones condicions agràries i mediambientals de la política agrària comuna (PAC) que alhora per si mateixes contribueixen a reduir emissions difuses de GEH originades per diferents activitats agrícoles: de CH_4 i N_2O en l'emmagatzematge de fems, o de N_2O i NH_3 en l'ús agrari de fertilitzants nitrogenats.

D'ençà que, el 1998, la UE signà el Protocol de Kyoto, s'han succeït el I i el II *Programa Europeu de Canvi Climàtic* (ECCP). En cap d'ells es considera específicament el sòl, es tracta de manera indirecta i sempre segons els usos a què es destina.

Aquesta situació és probablement fruit, entre d'altres, de l'escassa i molt dispersa informació que existeix sobre les interrelacions entre sòl i CC. La pròpia EC ho ha reconegut, en certa manera, en impulsar algunes actuacions. Així, s'ha organitzat una Conferència que analitza el paper de la gestió del sòl en la mitigació i adaptació al canvi climàtic (EC, 2008) i també s'ha publicat un recull en relació a aquest àmbit (Schils *et al.*,

2008). Anteriorment, amb l'objectiu de preparar l'*Estratègia Temàtica per a la Protecció del Sòl*, va promoure l'elaboració de varis informes (Van-Camp *et al.*, 2004) sobre l'estat de coneixements en les principals amenaces que afecten als sòls d'Europa. Malauradament però, el nivell de tractament aconseguit no fou prou homogeni.

A Espanya, cap de les activitats realitzades en el primer programa de treball (2007) per a desenvolupar el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* fa referència als sòls de forma explícita. La *Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, Horizonte 2007- 2012 -2020* ho fa en proposar polítiques d'actuació i el *Plan de Medidas Urgentes* de l'esmentada *Estrategia* només proposa l'elaboració de dues mesures amb finalitat d'aprimar les emissions del sector agrari, (taula 14).

Tanmateix, cal recordar que segons el *Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012* (RD 1370/2006) aprovat per la UE d'acord amb les directrius de NU (acords de Marràqueix), el potencial d'absorció pels embornals de carboni espanyols en aquest període, s'estima en un mínim de 28,94 Tg de CO_2 eq, això és, el 2% de les emissions (5,79 Tg) de l'any base²⁹, multiplicat per 5, anys del quinquenni. Per al càlcul es comptabilitza: l'absorció produïda per activitats de forestació i reforestació i l'absorció deguda a la gestió de terres agrícoles i de boscos; aspectes on el sòl juga un paper important. Pel que fa a les emissions de GEH de sectors difusos en què s'inclou el sector agrari, segons el pla anterior, a Catalunya cal reduir el creixement de les emissions de GEH dels sectors difusos fins al 37% (taula 14).

El *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008–2012* (ACORD GOV/161/2008), indica que aquestes emissions difuses constitueixen el 66% del total d'emissions i proposa diversos programes per a reduir-ne el creixement fins al 37%. Alguns d'aquests programes afecten els sòls i també la seva gestió (taula 14).

Tant la gestió com els usos del sòl estan afectats per polítiques molt diferents, amb uns

29. 1990 per a les emissions integrades de CO_2 , CH_4 , N_2O i 1995 per a les dels HFC, PFC, SF_6 .

Programa / Pla	ESPANYA		Previsions esperades
	Objectius	Mesures	
<i>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático</i> , aprovat el 2006			
<i>Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia Horizonte 2007 - 2012 - 2020</i> (EECCCL), aprovat el 2007	– Augmentar embornals de carboni – Reduir emissions dels sectors difusos (agrari i residus)		
<i>Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012</i> (RD 1370/2006)	– Potencial d'absorció embornals de carboni 2008-12: mínim 28,94 Mt de CO₂ eq (el 2% de les emissions totals nacionals, del any base 5,79 Mt x 5 anys) – Reduir el creixement de les emissions de GEH dels sectors difusos fins al 37 %		
<i>Plan de Medidas Urgentes de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia</i> , aprovat el 2006	– Reduir les emissions de metà – Reduir les emissions d'òxid nitrós	– Pla de biodigestió de purins – Pla per la reducció de l'ús de fertilitzants nitrogenats	Reducció de 1.780 Kt CO ₂ eq./any Reducció de 157 Kt CO ₂ eq./any
CATALUNYA			
<i>Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012</i>			
Reducció d'emissions dels sectors difusos: – Subprograma sector agrari	Reducció d'emissions al sector agrari	– Increment de la biodigestió anaeròbia dels purins i aprofitament del biogàs generat – Aprofitament energètic dels residus de biomassa agrícola i forestal – Eficiència energètica i utilització de les energies renovables en el sector agrari i ramader	Reducció total de les emissions, 0,259 Mt CO ₂ eq./any, que corresponen a la suma de les emissions parcials dels ítems citats a la columna esquerra (0,109; 0,023; 0,127 respectivament)
Mesures sectorials de suport al: – Sector agrari	Incrementar el contingut de matèria orgànica estabilitzada com a humus dels sòls Reduir les emissions lligades a les pràctiques agrícoles Incentivar l'eficiència en els sistemes de reg	– Transformacions dels sòls en regadiu, considerant la disponibilitat d'aigua derivada dels efectes del canvi climàtic i l'eficiència energètica – Conversió d'agricultura convencional a agricultura de conservació (sembra directa, mínim conreu) – Impuls de l'agricultura ecològica – Millora de les pràctiques de fertilització nitrogenada – Estudi del impuls normatiu per a la millora dels sistemes de reg a sistemes més eficients en l'ús de l'aigua i l'energia	Potencial d'absorció en els embornals de carboni 2008-12: 28,94 Mt (2 % de les emissions totals nacionals del any base -5,79 Mt- x 5), segons estimacions del "PN de asignación de derechos de emisión 2008-2012"
– Sector forestal	Els boscos són embornals de C	Impulsar la gestió forestal sostenible	

Taula 14. Actuacions establertes a Espanya i a Catalunya per mitigar el CC amb implicació dels sòls. (Mt = Tg; Kt = Gg).

objectius, en general, molt amplis. En les taules 15 i 16, es mostra la síntesi de la normativa existent, amb relació a diferents criteris: la protecció del sòl, la mitigació del canvi climàtic o les interaccions entre sòl i canvi climàtic. Cal interpretar doncs que la informació d'ambdues taules, en certa manera, és complementària. S'hi ha inclòs les disposicions introduïdes o modificades darrerament i només s'ha recorregut a d'altres més distants quan les primigènies no han estat modificades, per tant són encara vigents. En la mesura que ha estat possible, es fa també referència a les modificacions legislatives previsibles.

La taula 15 recull el marc legislatiu actual i/o previst a la UE per a combatre el canvi climàtic i/o protegir el sòl. La taula 16 relaciona aquelles disposicions de la UE i la seva transposició al règim jurídic d'Espanya i/o de Catalunya, on es manifesta l'existència d'interrelació entre el sòl i el CC. Atès que és pràcticament impossible deslligar el paper dels sòls dels usos a què estan sotmesos, com ho és desvincular-los del paisatge que suporten, també es fa referència al marc legislatiu sobre la política agrícola i forestal i al de la protecció del paisatge. No se'n fa cap en relació a normes que regulen sistemes específics de conreu, ni disposicions urbanístiques o sòls urbans.

En analitzar aquest extens recull del marc normatiu, molt probablement encara incomplet, se'n poden extreure algunes consideracions prou interessants:

- Diferents actuacions encapçalades amb el títol «protecció del sòl» no tenen el mateixos objectius de protecció. Així, en les taules 15 i 16, es citen dues actuacions sobre protecció del sòl que, en absolut són coincidents, ni estan dirigides a aconseguir la mateixa finalitat. Per evitar possibles confusions, a continuació s'expliciten els objectius de cadascuna d'elles:
 - La primera actuació fa referència a la comunicació de la *Proposta de Directiva per a establir un marc per a la protecció del sòl a Europa*, que estableix la identificació de zones de risc i les mesures per combatre alguns processos de degradació —erosió, pèrdua de matèria orgànica, compactació, salinització i lliscament

de terres— i també la identificació, l'inventari i la rehabilitació dels sòls contaminats (vegeu-ne el detall a la taula 15).

- La segona es refereix al «Subprograma de Protecció del Sòl», integrat en el *Programa de gestió de residus industrials de Catalunya* (vegeu la taula 16). Aquest subprograma està clarament dissenyat per a protegir el sòl de la contaminació i, quan és el cas, per a la seva posterior rehabilitació.
 - L'adopció de mesures pels estats membres (EM) no sempre aconsegueix l'efectivitat que inicialment s'esperava de la legislació UE. Així, Ahu i Ecologic (2007) amb l'objectiu d'identificar, descriure i avaluar les mesures establertes per diferents EM —segons la condicionalitat (PAC) i el Conveni de les NU per a Combatre la Desertificació— que contribueixen a mitigar, directa o indirectament, les principals amenaces del sòl identificades en l'*Estratègia Temàtica per a la Protecció del Sòl*, posen de manifest el que segueix:
 - El règim de condicionalitat, no cobreix totes les amenaces considerades en l'*Estratègia Temàtica per a la Protecció del Sòl*,
 - L'adopció de les normes de condicionalitat difereix molt entre els diversos EM. L'absència de dades sobre els processos de degradació al territori dels diversos països no permet avaluar si les diferències estan justificades per distintes condicions locals del sòl,
 - En aquest primer estadi d'implementació, encara no es pot avaluar l'efectivitat de les mesures adoptades pels EM.
- Per tant, tampoc no es pot estimar si les mesures són efectives en la lluita contra el CC.
- Algunes normes de la UE —adoptades pels EM, transferides o no als plans de mitigació del CC— si s'apliquessin, podrien produir efectes indesitjables sobre el segrest de carboni pel sòl. Així, augmentar el conreu de biocarburants o potenciar l'aprofitament energètic de residus biodegradables reduirà la possibilitat que el sòl segresti C, és a dir, minvarà el seu grau de saturació de C. Diversos autors corroboren aquests fets:
 - Schils *et al.* (2008), avaluen l'impacte potencial que cinc normes de la UE —reforma de la PAC, nitrats, energies renovables, residus i

	Actual i/o pendent de modificació	Previsible (2010- 12?)	Implicacions al sòl
Comerç dels drets emissió GEH (*)	– Directiva 2003/87/CE por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE16. Modificada per Directiva 2004/101/CE, i Directiva 2009/29/CE	– COM(2008) 16 final. Propuesta de de Directiva por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE	Canvis d'usos del sòl en tercers països com a conseqüència de la compra de drets d'emissió
Reducció de emissions (*) – Emissions de GEH no regulades per la Directiva 2003/87/CE	– Decisión 94/69/CE del Consejo, relativa a la celebración de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las naciones Unidas (CMNUCC) – Directiva 2001/81/CE, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos . (Emissions de SO ₂ , NO _x , COV i NH ₃)	– COM(2008) 17 final. Propuesta de Decisión sobre el esfuerzo que habrán de desplegar los Estados miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020	Estímul a la recerca per conèixer les emissions naturals de GEH a partir del sòl Reducció de l'acidificació dels sòls per efecte de la de posició de GEH i altres possibles efectes en la MOS i la biologia del sòl
Foment de l'ús d'energia procedent de fonts renovables (*) i (**) – Biocarburants	– Directiva 2001/77/CE relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad – Directiva 2003/30/CE relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte – Directiva 2009/28/CE, relativa al uso energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se de derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE	– COM(2006) 34 final, Estrategia de la UE para los biocarburantes	Canvis de cultius en favor dels biocombustibles. Major pressió d'explotació sobre els sòls. Previsible reducció de l'estoc de C al sòl. Càlcul modificació reserves de carboni en el sòl
Gestió de bioresidus (*) i (**)	– Directiva 2008/98/CE, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas	– COM(2008) 811 final. LIBRO VERDE sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea	El reciclatge de residus en el sòl facilita el segrest de C.
Emmagatzemament geològic de diòxid de carboni (*)	– Directiva 2009/31/CE, relativa al almacenamiento geológico de dióxido de carbono y por la que se modifican la Directiva 85/337/CEE, las Directivas 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE y el Reglamento (CE) 1013/2006		

Prevenió i control integrat de la contaminació (*) i (**) – Ramaderia intensiva – Tractament de residus	– Directiva 96/61/CE, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación A Catalunya, anomenada: intervenció integral de l'administració ambiental, IIAA (Llei 3/1998)	– Directiva 2008/1/CE, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación	Protecció del sòl d'emissions industrials
Responsabilitat ambiental (*)	– Directiva 2004/35/CE, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales.		Prevenció de la contaminació i responsabilitats per danys als sòls
Aigües (*) i (**) – Protecció	– Directiva 91/676/CE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por fuentes agrarias – Directiva 2006/118/CE relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro		Limitació de la fertilització nitrogenada. Plans de gestió dels fertilitzants en sòls agrícoles. Gestió de les dejeccions ramaderes en relació a la fertilització dels sòls. Efectes sobre les emissions de GEH procedents del sòl
– Política	– Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas	– Directiva 2008/32/CE que modifica la Directiva 2000/60/CE, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión	Gestió de conques i de recursos hídrics. Pla hidrològic. Regadius.
Política agrícola PAC (**) – Bones condicions agràries i mediambientals – Mesures centrades en la utilització sostenible de les terres agrícoles i forestals – Foment conreu biocarburants – Condicionalitat ³⁰	– Reglamento (CE) 1782/2003 por el que se establecen disposiciones comunes aplicables a los regímenes de ayuda directa en el marco de la política agrícola común y se instauran determinados regímenes de ayuda a los agricultores y por el que se modifican los Reglamentos (CEE) 2019/93, (CE) 1452/2001, (CE) 1453/2001, (CE) 1454/2001, (CE) 1868/94, (CE) 1251/1999, (CE) 1254/1999, (CE) 1673/2000, (CEE) 2358/71 y (CE) 2529/2001 – Reglamento (CE) 796/2004, por el que se establecen disposiciones para la aplicación de la condicionalidad, la modulación y el sistema integrado de gestión y control previstos en el Reglamento (CE) 1782/2003	– Reglamento (CE) 73/2009, por el que se establecen disposiciones comunes aplicables a los regímenes de ayuda directa a los agricultores en el marco de la política agrícola común y se instauran determinados regímenes de ayuda a los agricultores y por el que se modifican los Reglamentos (CE) 1290/2005, (CE) 247/2006, (CE) 378/2007 y se deroga el Reglamento (CE) 1782/2003 – Reglamento (CE) 1266/2008 que modifica el Reglamento (CE) 796/2004 por el que se establecen disposiciones para la aplicación de la condicionalidad, la modulación y el sistema integrado de gestión y control previstos en el Reglamento (CE) 1782/2003	Forta incidència sobre el sòl i en el seu paper com a mitgador dels efectes del CC Comprèn tot un seguit de mesures que poden ser molt efectives en la lluita contra el CC en relació al sector agrícola

Taula 15. (Continua)

30. «Principi de condicionalitat: S'aplicaran reduccions o exclusions als pagaments directes als agricultors que no compleixin una sèrie de requisits en matèria de salut pública..., medi ambient i benestar animal» segons Reglamento (CE) 796/2004. Així mateix, segons el RD 2352/2004, condicionalitat: «Resulta, pues, procedente condicionar el pago único por explotación al cumplimiento de una serie de requisitos medioambientales, de seguridad alimentaria, de salud y bienestar de los animales, así como de mantenimiento de la explotación en buenas condiciones agrarias y medioambientales.»

Desenvolupament rural (**)	– Reglamento (CE) 1698/2005 relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural	– Decisión de 20 de febrero de 2006 sobre las directrices estratégicas comunitarias de desarrollo rural (período de programación 2007-2013)	Integra moltes mesures de gestió ambiental sostenible incloent la gestió del sòl a l'àmbit rural, amb efectes indirectes sobre la mitigació del CC
Boscos (*) i (**)	– Reglamento (CE) 2152/2003 sobre el seguimiento de los bosques y de las interacciones medio-ambientales en la Comunidad (Forest Focus) – Reglamento (CE) 1737/2006 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 2152/2003	– COM(2006) 302 final. Comunicación relativa a un Plan de acción de la UE para los bosques	Forta incidència en el segrest de C a la biomassa i sòls forestals, en la regulació del cicle hidrològic i sobre el control de l'erosió
Protecció de la natura (**)	– Directiva 79/409/CEE, relativa a la conservación de las aves silvestres – Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la flora y la fauna silvestres – Directiva 97/62/CE, por la que se adapta al progreso científico y técnico la Directiva 92/43/CEE	– COM(2005) 670 final Estrategia temática sobre el uso sostenible de los recursos naturales – COM(2005) 718 final Estrategia temática para el medio ambiente urbano – COM(2006) 216 final Detener la pérdida de biodiversidad para 2010 — y más adelante, Respaldo de los servicios de los ecosistemas para el bienestar humano	Protecció d'hàbitats i de la biodiversitat edàfica. Limitació d'usos dels sòls en zones protegides
Protecció del sòl (**)	– COM/2006/231 final, Comunicación Estrategia temática para la protección del suelo (Procesos de degradación i amenazas del sòl d'Europa identificats: erosió, pèrdua de MO, contaminació local i difusa, segellament (pavimentació), compactació, reducció de la diversitat biològica, salinització, inundacions i lliscament de terres)	– COM(2006) 232 final. Propuesta de Directiva por la que se establece un marco para la protección del suelo y se modifica la Directiva 2004/35/CE (Identificación de zonas de riesgo i mesures per a combatre: l'erosió, la pèrdua de MO, la compactació, la salinització i el lliscament de terres; identificació, inventari i rehabilitació de sòls contaminats)	Constitueixen el conjunt de propostes directes de protecció del sòl. La majoria de processos de degradació considerats tenen relació directe (pèrdua de MO, increment d'erosió) o indirecte (contaminació, salinització, pèrdua de biodiversitat) amb el CC.
Gestió d'inundacions (**)	– COM(2004)472 final, Gestión de los riesgos de inundación. Prevención, protección y mitigación de las inundaciones	– Directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación	Polítiques d'usos del sòl per prevenir riscos d'inundacions

Taula 15. Marc legislatiu de la UE per combatre el CC (*) i/o protegir el sòl (**).

	Unió Europea	Espanya	Catalunya
Fertilitzants i adobs	– Reglamento (CE) 2003/2003, relativo a los abonos – Reglamento (CE) 181/2006, por el que se aplica y modifica el Reglamento (CE) 1774/2002 en lo relativo a los abonos y las enmiendas del suelo de origen orgánico, con excepción del estiércol	– RD 824/2005, sobre productos fertilizantes. Modificat per RD 1769/2007 i Orde APA/863/2008	
	– Directiva 91/676/CE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias	– RD 261/1996, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias – RD 324/2000, por el cual se establecen normas básicas para la ordenación de las explotaciones porcinas. Modificat per RD 1323/2002 i RD 3483/2002 – RD 987/2008, por el que se establecen bases reguladoras para la concesión de las subvenciones destinadas a determinados proyectos de mejora de la gestión medioambiental de las explotaciones porcinas	– Ordre de 22 d'octubre de 1998, del Codi de bones pràctiques agràries en relació al nitrogen – Decret 283/1998, de designació de les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries – Decret 205/2000, d'aprovació del programa de mesures agronòmiques aplicables a les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries – Decret 119/2001, pel que s'aproven les mesures ambientals de prevenció i correcció de la contaminació d'aigües per nitrats – Decret 220/2001, de gestió de les dejeccions ramaderes – Llei 18/2001, d'Orientació Agrària – Decret 476/2004 pel qual es designen noves zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries – Decret 50/2005, pel qual es desplega la Llei 4/2004, reguladora del procés d'adequació de les activitats existents a la Llei 3/1998, i de modificació del Decret 220/2001, de gestió de les dejeccions ramaderes – Decret 136/2009, d'aprovació del programa d'actuació aplicable a les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats que procedeixen de fonts agràries i de gestió de les dejeccions ramaderes
Aplicació de residus al sòl i gestió de residus	– Directiva 86/278/CEE, relativa a la protecció del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura – Directiva 2006/12/CE, relativa a los residuos – Directiva 2008/98/CE, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas	– RD 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario – Orden de 26 de octubre de 1993 sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario – Ley 10/1998, de residuos	– DL 1/2009, pel qual s'aprova el Text refós de la Llei reguladora dels residus – Programa de tractament dels fangs de les depuradores d'aigües residuals urbanes, ACA. 2001

Taula 16. (Continua)

		– <i>Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015</i> (Resolución de 20/01/2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático)	– <i>Programa de Gestió de Residus Municipals de Catalunya, (PROGREMIC) 2007-2012</i> – <i>Programa de Gestió de Residus Industrials de Catalunya, (PROGRIC) 2007-2012</i>
	– Reglamento (CE) 1774/2002, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano Modificat per: Reglamento (CE) 92/2005, Reglamento (CE) 1678/2006 y Reglamento (CE) 1576/2007	– RD 1429/2003, por el que se regulan las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria en materia de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano	
Sòls contaminats		– RD 9/2005, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. (Desenvolupa el títol V de la Ley 10/1998)	– <i>Subprograma Protecció del sòl, dins Programa de gestió de residus industrials de Catalunya (PROGRIC) 2007-2012</i>: Essencialment destinat a la protecció envers a la contaminació
Energies renovables Generació de biogàs	– Directiva 2001/77/CE relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad – Directiva 2003/30/CE relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte	– RD 2818/1998, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración – <i>Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000- 2010</i> – <i>Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010, revisió de l'anterior</i> – RD 616/2007, sobre fomento de la cogeneración – Orden ITC/1522/2007, de 24 de mayo, por la que se establece la regulación de la garantía del origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia – RD 661/2007, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial	– <i>Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015</i> – <i>Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012</i>
Protecció del paisatge	– <i>Convenio Europeo del Paisaje</i> (Consell d'Europa, 2000)		– Llei 8/2005, de protecció, gestió i ordenació del paisatge – Decret 343/2006, pel qual es desenvolupa la Llei 8/2005 de protecció, gestió i ordenació del paisatge, i es regulen els estudis i informes d'impacte i integració paisatgística
Lluita contra la desertificació	– Decisión 98/216/CE, relativa a la celebración, en nombre de la Comunidad Europea, de la Convención de las N U de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África	– <i>Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación en cumplimiento de la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación</i> (Orden ARM/2444/2008)	

Taula 16. Normativa que regeix a la UE, Espanya i Catalunya en diferents àmbits d'interrelació entre el sòl i el CC.

proposta per a la protecció del sòl— tenen sobre el segrest de carboni pel sòl. Conclouen que, en general, la seva aplicació contribuirà (llarg termini —escenari 100 anys—) a mantenir el contingut de carboni dels sòls d'Europa, llevat d'aquelles disposicions que fomenten tant l'augment del conreu de biocarburants (reforma de la PAC i energies renovables) com el benefici energètic (energies renovables) de diferents residus biodegradables que ocasionaran l'efecte contrari, una disminució del C. En la taula, 17 es presenta una síntesi dels impactes potencials derivats de l'aplicació de les esmentades normatives de la UE.

—Per una altra banda, diferents autors (Soliva i Felipó, 2003; Hogg, 2003; Marmo, 2007; Favoino, 2008; Favoino i Hogg, 2008 i Gili, 2008) indiquen també que l'aplicació de determinats residus biodegradables al sòl augmenta la capacitat de segrest de carboni dels sòls agrícoles; mentre que l'aprofitament energètic ocasionarà efectes indesitjables al sòl, amb probables repercussions desfavorables sobre el canvi climàtic (Favoino i Hogg, 2008). Recentment, però, altres autors (Lehmann, 2007b; Laird, 2008; Lehmann i Joseph, 2009) promouen la valorització energètica parcial de la biomassa —dins del que anomenen estratègies carboni negatives— mitjançant tecnologies de piròlisi que generen una fracció residual sòlida anomenada biocarbó (*biochar*) (vegeu l'apartat 11.2.2). Aquest carbó vegetal pot ser reincorporat al sòl i se suposa que hi pot romandre llarg temps a més de produir altres beneficis agrònomicos. La controvèrsia sobre els beneficis del *biochar* queda reflectida en diversos articles (Kleiner, 2009; McHenry, 2009). El *biochar* ha estat inclòs dins de les propostes d'accions mitigadores del canvi climàtic a l'esborrany de document de la conferència de la Convenció de les NU pel canvi climàtic a celebrar a Copenhaguen el desembre de 2009, fet que ha motivat l'oposició de diverses organitzacions i col·lectius³¹.

- Aquestes darreres consideracions, obliguen a qüestionar alguna de les mesures del subprograma sector agrari «Aprofitament energètic dels residus de biomassa agrícola i forestal» del *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008–2012* (taula 14), originàriament proposada per a reduir les emissions difuses de GEH a Catalunya. Si s'aplica aquesta mesura al sector agrari, sense garantir un retorn de MO als sòls, l'efecte serà contraproduent per als sòls de Catalunya on es practiqui, doncs els ocasionarà la pèrdua gradual del contingut en MO. Això, hipotecarà el seu ús futur, doncs es reduirà la seva qualitat, atès que també afectaria totes aquelles propietats associades al contingut d'aquest component, bàsic per a poder-ne fer un ús sostenible i en últim terme, els pot conduir cap a la seva desertificació. Més possibilitats té l'aprofitament energètic de la biomassa forestal sempre que es faci de forma limitada en el marc de plans de gestió i de prevenció d'incendis forestals. Val a dir que la reprovaçió d'aquesta mesura hauria d'implicar també el *Pla d'energies renovables*, que juntament amb d'altres actuacions configuren el *Pla de l'Energia de Catalunya 2006–2015*, on es proposen estratègies i accions per a potenciar l'energia procedent de la combustió completa de la biomassa (tecnologies carboni-zero) sense discriminar entre tipus de biomassa. Es troba a faltar en l'esmentat pla la consideració de noves tecnologies de piròlisi que permeten un aprofitament energètic parcial de la biomassa i la generació de *biochar* que podria ser retornat al sòl (tecnologies carboni-negatives). Afortunadament, d'altres programes establerts a Catalunya manifesten el contrari, doncs tenen com a objectiu fomentar la valorització de RO biodegradables i fins al moment no s'ha detectat cap intenció d'esmenar-los. Entre ells cal esmentar: 1) els *Plans de gestió de les dejeccions ramaderes*, que permeten un millor control de les aplicacions al sòl; 2) el *Pla per al foment de l'agricultura ecològica*, en expansió a Catalunya i que promou l'ús adobs orgànics de qualitat; 3) el *Subprograma gestió de fraccions biodegradables*, que estableix el tractament amb recuperació i/o estabilització de les fraccions

31. Biofuel watch <http://www.biofuelwatch.org.uk/> a «International declaration on biochar» [juny de 2009]. <http://www.regenwald.org/international/englisch/news.php?id=1226> [juny de 2009].

Política	Mesura	Impactes	Avaluació qualitativa de l'efecte sobre el C del sòl	Incertesa	Nivell de concordança	Notes
Reforma de la PAC (Reglament (CE) 1782/2003)	Pagament dissociat	Menys bestiar	De neutra a potencialment negativa Els impactes negatius poden ser grans si grans àrees de prats es converteixen en agrícoles	Significativa en els impactes fortament dirigits cap a les forces de mercat en la indústria ramadera	Limitat	Major orientació dels agricultors a la comercialització pot conduir a un increment de la producció arable i disminuir el C del sòl
	Condicionalitat	Reduir les entrades	De neutra a potencialment negativa Però mentre la direcció del canvi és inerta, els impactes són presumiblement	Significativa sobre els impactes derivats d'augmentar o reduir l'ús de fertilitzants nitrogenats sobre el C del sòl	Limitat	Generalment una reducció de l'entrada de fertilitzants nitrogenats redueix el potencial pel segrest de C, però està en discussió
		Bones condicions agràries i ambientals	Manté o augmenta	Alguna	Bo	
		Manteniment dels prats	Manté o augmenta	Poca	Bo	
		Abolició de retirada de terres per la producció	Negatiu	Moderada	Bo	
	Augmentar conreu de biofuels	Augmentar conreus herbacis	Negatiu	Poca		
Nitrats (Directiva 91/676/CE)	Aplicació de N	Menys N aplicat	Pot augmentar o reduir el C del sòl	Significativa	Limitat	Veure reforma de la PAC
Energies renovables (Directiva 2001/77/CE, Directiva 2003/30/CE)	Augment de la demanda de biofuels	Augmentar els conreus herbacis i els energètics perennes (juntament amb la PAC)	Potencialment gran disminució del C del sòl	Moderada	Raonable	Els resultats depenen del balanç entre conreus herbacis i permanents
	Suport a la producció d'energia a partir de bioresidus	Incentivar la incineració abans que el compostatge	Negatiu	Significativa, però depèn de les decisions preses per cada Estat membre	Limitat, com s'ha indicat la producció d'energia és beneficiosa en referència a les "bones condicions agràries i ambientals"	La producció d'energia a partir de la digestió anaeròbia seguida del compostatge pot ser una opció avantatjosa
Política de residus (Directiva 2008/98/CE)	Límits d'emissions Augment del compostatge	Cap Moderat increment per addicions de compost al sòl	Cap Potencialment lleuger increment del C del sòl	Poca	Bo	La quantitat potencial de compost és petita en comparació amb la quantitat de fems que s'apliquen al sòl
Marc UE de l'estratègia per la protecció del sòl (COM(2006) 232 final)	Protecció de la MO del sòl	Ha de mantenir si no augmentar la MOS	Mantenir o augmentar el C del sòl	Alguna		Subjecta a l'adopció de la Directiva Marc de la UE per la protecció del sòl

Taula 17. Síntesi dels impactes potencials de les polítiques de la UE sobre el segrest de C al sòl, a partir de Schils et al., 2008.

biodegradables per a valoritzar-les al sòl, per compostatge, dins el *Programa de gestió de residus municipals 2007-2012*, i 4) el *Programa de gestió de residus industrials 2007-2012*, etc.

Tanmateix pel que fa a la resta de mesures proposades en el mateix *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012*, (taula 14) per a reduir emissions difuses del subsector agrari, cal esmentar que, en desenvolupar-les, caldria realitzar només aquelles actuacions que considerin al mateix temps la protecció del sòl. A continuació, per a cadascuna de les mesures restants, s'indiquen les intervencions més adients per protegir el sòl que també contribuiran a mitigar el CC:

- «Increment de la biodigestió anaeròbia dels purins i aprofitament del biogàs generat». Cal assegurar la qualitat agronòmica del producte final per a l'aprofitament del N del purí com a adob, ja que l'estalvi de fertilitzants contribueix indirectament a reduir les emissions.
- «Eficiència energètica i utilització de les energies renovables en el sector agrari i ramader». No s'hauria d'estimular l'aprofitament energètic d'aquells residus d'aquest sector que tinguin utilitat com a esmenes o adobs a les mateixes finques, per tant, només benefici energètic dels excedentaris.

Finalment, la resta de mesures sectorials de suport al sector agrari del pla marc de mitigació català (taula 14) a l'hora de desenvolupar-se han de considerar una efectiva protecció del sòl i, entre elles, evitar la salinització.

11.8. Conclusions

1. Si bé es disposa de nombroses dades del contingut de carboni als sòls agrícoles de Catalunya, hi ha pocs treballs publicats que facin un inventari complet del reservori orgànic i de la seva vulnerabilitat al canvi climàtic i manquen dades de sòls forestals. Caldria, per tant, posar en marxa un inventari sistemàtic del carboni edàfic dels sòls de Catalunya per a poder avaluar correctament el seu potencial de segrest de C. Aquest inventari hauria de permetre comparar diferents tipus de sòls en funció de les seves propietats bàsiques i també d'acord amb els seus usos, així com conèixer la seva capacitat de saturació, per a poder-ho utilitzar en simulacions en el marc

del canvi global, i en la gestió i maneig de sòls i residus orgànics.

2. Atesa la importància del reservori de carboni orgànic als sòls de Catalunya, la seva posició majoritària a la capa superficial (0-30 cm) el fa vulnerable als efectes del CC, fet que es pot traduir en emissions importants de CO₂.

3. La capacitat de segrest de carboni al sòl és limitada, de manera que augmentar-ne les aportacions no comporta en si mateix un increment de l'estoc de C, tot i que per a contrarestar els efectes del canvi climàtic i mantenir la qualitat dels sòls de Catalunya, és convenient augmentar-hi les aportacions de matèria orgànica. Cal planificar l'aplicació dels materials orgànics disponibles a aquells sòls amb un major potencial de segrest per a que siguin efectius.

4. L'aplicació de compost és una bona manera d'incrementar l'estoc de carboni al sòl que, a més, compensa les emissions que es produïrien en la fabricació dels fertilitzants que aportarien els nutrients equivalents als continguts al compost.

5. L'aprofitament energètic de la biomassa forestal per a tecnologies de piròlisi (dins del que s'anomenen estratègies carboni negatives) i l'aplicació al sòl del biocarbó (*biochar*) que se n'obté podria ser una alternativa interessant a Catalunya, que caldria avaluar.

6. El canvi climàtic suposarà una major aridesa que es traduirà en una evolució a règims d'humitat del sòl menys percolants. Per tant, caldrà prendre mesures de gestió dels sòls que evitin la salinització, l'erosió i la pèrdua de matèria orgànica dels sòls de Catalunya.

7. El conjunt de mesures de mitigació de les emissions de GEH basades en el maneig dels cultius i la gestió de les pastures poden ser prou efectives atesa la importància de la SAU al territori català (35,5%). Entre aquestes mesures es poden citar les tècniques de conreu mínim, el maneig correcte dels arrossars, l'ús eficient dels fertilitzants nitrogenats i l'aprofitament dels residus orgànics. La reforestació i la restauració de terres degradades també poden ajudar a compensar les emissions d'altres zones, si bé la seva contribució global a Catalunya serà moderada.

8. Cal un millor coneixement de les emissions de CO₂ dels sòls de Catalunya sota diferents condicions ambientals i de maneig dels

sòls. Les emissions edàfiques de CH_4 són relativament petites per l'extensió limitada de les zones humides i dels arrossars. Les possibilitats d'actuar a zones humides són escasses ja que moltes tenen alguna figura de protecció. La gestió dels arrossars escurçant el període d'inundació podria reduir les emissions, però la contribució global d'aquesta mesura seria petita.

9. Una bona gestió dels fertilitzants nitrogenats, a més de reduir el risc de contaminació de les aigües, pot ser una bona eina per a reduir les emissions de GEH.

10. Els sòls de regadiu de Catalunya contenen més carboni orgànic que els de secà, si bé també tenen taxes d'emissions de GEH superiors. Caldria una avaluació completa de tots els processos que intervenen en les transformacions en regadiu per a estimar la seva importància en el balanç de C.

11. El marc d'actuació en les polítiques del sòl ve determinat per l'*Estratègia Temàtica del Protecció del Sòl*. Fruit d'això, moltes normatives d'àmbit agrari o ambiental incideixen directament o indirecta en el sòl i tenen implicacions en relació al CC.

12. Algunes normes de la UE, per exemple augmentar els conreus per a biocarburants o potenciar l'aprofitament energètic per combustió de residus biodegradables, poden tenir efectes col·laterals indesitjables sobre el segrest de carboni al sòl.

13. La legislació actual sobre residus, que prima en certs casos la combustió per sobre d'altres usos, no afavoreix el manteniment de la qualitat del sòl sota un escenari de CC. Algunes mesures del Subprograma del sector agrari «Aprofitament energètic dels residus de biomassa agrícola i forestal» del *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008–2012*, originàriament proposades per a reduir les emissions difuses de GEH, si s'apliquen sense garantir un retorn de MO als sòls, poden ocasionar la pèrdua gradual del contingut en MO.

14. L'avaluació de les mesures en què el sòl intervé en el segrest de carboni s'haurien de fer globalment, tenint en compte les diferents alternatives que existeixen i el seu impacte sobre el canvi climàtic i la qualitat del sòl. Una de les eines que pot aportar solucions és l'Anàlisi del Cicle de Vida.

Abreviatures emprades i acrònims

Acrònim	Terme
AEM	Agència Europea de Medi Ambient
NH_4^+	Amoni
NH_3	Amoníac
ACV	Anàlisi del Cicle de Vida
CC	Canvi climàtic
C	Carboni
C_{inorg}	Carboni inorgànic
CIS	Carboni inorgànic del sòl
C_{org}	Carboni orgànic
COS	Carboni orgànic del sòl
EC	Comissió de les Comunitats Europees
DMAH	Departament de Medi Ambient i Habitatge
DAR	Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural
CO_2	Diòxid de carboni
CO_2 eq.	Equivalent a CO_2
EDAR	Estacions depuradores d'aigües residuals
JRC	European Commission's Joint Research Centre
GEH	Gasos amb efecte d'hivernacle
MO	Matèria orgànica
MOS	Matèria orgànica del sòl / Matèria orgànica edàfica
MOR	Matèria orgànica dels residus o residual
MO_{total}	Matèria orgànica total
CH_4	Metà
N	Nitrogen
N-NH_3	Nitrogen amoniacal
N_{inorg}	Nitrogen inorgànic
NIS	Nitrogen inorgànic del sòl
N-NO_3^-	Nitrogen nítric
N_{org}	Nitrogen orgànic
NOS	Nitrogen orgànic del sòl
N_{total}	Nitrogen total
N_2O	Òxid nitrós
NO_x	Òxids de nitrogen ($\text{N}_2\text{O} + \text{NO}$)
PAC	Política Agrícola Comuna
PDR	Programa de Desenvolupament Rural
RM	Residus municipals
RO	Residus orgànics
RSU	Residus sòlids urbans
smh	Segons matèria humida
sms	Segons matèria seca
Mg	Tones, t o T
UE	Unió Europea

Referències

- ACA (2005). «Anàlisi de pressions, impactes i risc. Capítol 4.». A: AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA). *Document de pressions i impactes i anàlisi del risc d'incompliment dels objectius de la Directiva Marc de l'Aigua (2000/60/CE) a Catalunya (Document IMPRESS)*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, DMAH, ACA, p. 860. <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1206154461208200586461> [juny 2009].
- (2007). *Agència Catalana de l'Aigua. Memòria 2007*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, DMAH, ACA, p. 174. <http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/publicacions/memoria2007/memoria_2007.pdf> [juny 2009].
- (2008). *Informe de sostenibilitat ambiental del programa d'actuacions per a la gestió dels fangs de depuració d'aigües residuals urbanes de Catalunya (2009-2014)*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, DMAH, ACA, p. 123. <http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/legislacio/projectes/5_informe_sostenibilitat_ambiental.pdf> [juny 2009].
- AGO (2002). *Living With Climate Change: An Overview of Potential Climate Change Impacts on Australia*. Canberra: Australian Government, Departement of climate Change, Australian Greenhouse Office (AGO), p.36. <<http://www.greenhouse.gov.au/impacts/overview/>> [juny 2009].
- AHU & ECOLOGIC. (2007). *Evaluation of Soil Protection Aspects in Certain Programmes of Measures Adopted by Member States*. Bruseles: European Commission, Environment Directorate-General B1, Agriculture, Forests and Soil Unit. Cont. No. 07010401/2006/443994/ATA/B1: ahu AG Wasser · Boden · Geomatik (Ahu) and Ecologic Institut für Internationale und Europäische Umweltpolitik (Ecologic), p. 538. <http://ec.europa.eu/environment/soil/publications_en.htm> [juny 2009].
- ALBADALEJO, J.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ROLDÁN, A.; CASTILLO, V. (1998). «Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semi arid environment». *Soil Use Man*, núm. 14, p. 1-5.
- ALCAÑIZ, J.M.; BOIXADERA J.; FELIPÓ M.T. [et al.] (2005). «Els Sòls». A: LLEBOT, J.E. (ed.) *L'Estat del Medi Ambient a Catalunya* Bellaterra: ICTA, UAB, UAB Servei de Publicacions. p. 71-117.
- ALMENDROS, G. (2008). «Humic Substances». A: CHESWORTH, W. (editor), *Encyclopedia of Soil Science*. Dordrecht: Springer, p. 315-323.
- ANDERSSON, S.; NILSSON, S.I. (2001). «Influence of pH and temperature on microbial activity, substrate availability of soil-solution bacteria and leaching of dissolved organic carbon in a mor humus». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 33, p. 1181-1191.
- ANTÓN, M.A.; MUÑOZ, P.; CASTELS, F. [et al.] (2005). «Improving waste management in protected horticulture». *Agron. Sustain. Dev.*, núm. 25, p. 447-453.
- ANFEE (2009). Base de datos. Madrid: Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes. <<http://www.anffe.com/noticias/2008/index.html>> [juny 2009].
- ARC (2009b). *Programa de gestió de residus municipals a Catalunya, PROGEMIC 2007-2012*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, DMAH, Agència de Residus de Catalunya (ARC), p. 317. <<http://www.arc.cat/ca/agencia/programes/>> [juny 2009].
- (2009c). Comunicació personal.
- ASENSIO, D.; PEÑUELAS, J.; OGAYA, R.; LLUSIÀ, J. (2007). «Seasonal soil and leaf CO₂ exchange rates in a Mediterranean holm oak forest and their responses to drought conditions». *Atmospheric Environment*, núm. 41, p. 2447-2455.
- BAATH, E.; FROSTEGARD, A.; PENNANEN, T.; FRITZE, H. (1995). «Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soils». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 27, p. 229-240.
- BALBOA-MURIAS, M.A.; ROJO, A.; ÁLVAREZ, J.G.; MERINO A. (2006). «Carbon and nutrient stocks in mature Quercus robur L. stands in NW Spain». *Annals of Forest Science*, 63, p. 557-565.
- BENISTON, M.; STEPHENSON, D.B.; CHRISTENSEN, O.B. [et al.] (2007). «Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections». *Climatic Change*, núm. 8, p. 71-95. DOI 10.1007/s10584-006-9226-z.
- BENKE, M.B.; MERMUT, A.R.; SHARIATMADARI, H. (1999). «Retention of dissolved organic carbon from vinasse by a tropical soil, kaolinite, and Fe-oxides». *Geoderma*, núm. 91, p. 47-63.
- BONMATÍ, A. (2008). «Tratamiento de deyecciones ganaderas. Situación en Catalunya». Barcelona: *Jornadas Técnicas ECOFARM-EXPOAVIGA'08*. <<http://www.arc.cat/ca/publicacions/pdf/municipals/expoaviga/programa.pdf>> [juny 2009].
- BRADY, N.C.; WEIL, I.R.R. (2008). *The nature and properties of soils*; New Jersey: Pearson Prentice Hall, p. 975. (14a ed., revisada).

- BRONICK, C.J.; LAL, R. (2005). «Soil structure and management: a review». *Geoderma*, núm. 124, p. 3-22.
- BRODOWSKI, S.; AMELUNG, W.; HAUMAIER, L.; ZECH, W. (2007). «Black carbon contribution to stable humus in German arable soils». *Geoderma*, núm. 139, p. 220-228.
- BRUN, S.; JENSEN, E.S.; JENSEN, L. S. (2008). «Microbial mineralization and assimilation of black carbon: Dependency on degree of thermal alteration». *Organic Geochemistry*, núm. 39, p. 839-845.
- CALANCA, P.; ROESCH, A.; JASPER, K.; WILD, M. (2006). «Global warming and the summertime evapotranspiration regime of the Alpine region». *Climatic Change*, núm. 79, p. 65-78.
- CERTINI, G. (2005). «Effects of fire on properties of forest soils: a review». *Oecologia*, núm. 143, p. 1-10.
- CHAN, K.Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I. [et al.] (2007). «Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment». *Australian Journal of Soil Research*, núm. 45, p. 629-634.
- CHAPIN III, F.S.; WALKER, B.H.; HOBBS, R. J. [et al.] (1997). «Biotic control over the functioning of ecosystems». *Science*, núm. 277, p. 500-504.
- CHENG, C.H.; LEHMANN, J.; THIES, J.E. [et al.] (2006). «Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes». *Organic Geochemistry*, núm. 37, p. 1477-1488.
- CHENG, C.H.; LEHMANN, J.; ENGELHARD, M.H. (2008). «Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, núm. 72, p. 1598-1610.
- CHRISTOPHER, S.F.; LAL, R., (2007). «Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils». *Critical Reviews in Plant Sciences*, núm. 26, p. 45-64.
- CIAIS, P.; REICHSTEIN, M.; VIOVY, N. [et al.] (2005). «Europe-wide reduction in primary productivity caused by heat and drought in 2002». *Nature*, núm. 437, p. 529-533.
- CONETH, A.; BLAIR, G.J.; ROCHESTER, I.J., (1998). «Soil organic carbon fraction in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporating cotton stubble». *Australian Journal of Soil Research*, núm. 36, 655-667.
- COSTA, J. (2004). «Els sòls com a reservori de carboni. Aplicació en una franja occidental de Catalunya: estat actual i potencial». Lleida: Universitat de Lleida. (Projecte final de carrera).
- CRUZ, J.; POCH, R.M.; PORTA, J. (2008). «Environmental effects of rehabilitated coalmine soils using organic wastes». *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-12045, EGU General Assembly 2008, Viena. <<http://www.cosis.net/abstracts/EGU2008/12045/EGU2008-A-12045.pdf>> [setembre 2009].
- DAR (2007) «Estadística agrària: superfícies, rendiments i produccions dels conreus agrícoles». A: *Estadístiques del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural*. (DAR). Generalitat de Catalunya. <http://www20.gencat.cat/docs/DAR/DE_Departament/DE02_Estadistiques_observatori/02_Estructura_i_produccio/01_Estadistiques_agricoles/> [7 setembre 2009].
- (2009). Base de dades, Arxiu del DAR. Barcelona: Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (DAR).
- DE BELLO, F.; LEPS, J.; SEBASTIÀ, M.T. (2007). «Grazing effects on the species-area relationship: Variation along a climatic gradient in NE Spain». *J. Veg. Sci.*, núm. 18, p. 25-34.
- DE GRYZE, S.; SIX, J.; BRITS, C.; MERCKX, R. (2005). «A quantification of short-term macroaggregate dynamics: influences of wheat residue input and texture». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 37, p. 55-66.
- DENEË, K.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; MERCKX, R. (2001). «Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry-wet cycles». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 33, p. 2145-2153.
- DERSCH, G.; BOHM, K., (2001). «Effects of agronomic practices on the soil carbon storage potential in arable farming in Austria». *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, núm. 60, p.49-55.
- DÍAZ-HERNÁNDEZ, J.L., BARAHONA FERNÁNDEZ, E.; LINARES GONZÁLEZ, J. (2003). «Organic and inorganic carbon in soils of semiarid regions: a case study from the Guadix-Baza basin (Southeast Spain)». *Geoderma*, núm. 114, p. 65-80.
- DICK, W. A.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. [et al.] (1998). «Impacts of agricultural management practices on carbon sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt». *Soil & Tillage Research*, núm. 47, p. 235-244.

- DMAH (2009) *Cartografia digital de les activitats extractives de Catalunya*. EXTACATA, data d'actualització: 30 de maig de 2009. <http://mediambient.gencat.net/cat/el_departament/cartografia/fitxes/extract.jsp> [juny 2009].
- DOMMERGUES, Y. (1960). «La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols». *L'Agronomie Tropicale*, núm. 15, p. 54-60.
- DUMANSKI, J.; DESJARDINS, R.L.; TARNOCAL, C. [et al.] (1998). «Possibilities for future carbon sequestration in canadian agriculture in relation to land use changes». *Climatic Change*, núm. 40, p. 81-103.
- DORMAAR, J.F.; CAREFOOT, J.M. (1998.) «Effect of straw management and nitrogen fertilizer on selected soil properties as potential soil quality indicators of an irrigated dark brown Chernozemic soil». *Canadian Journal of Soil Science*, núm. 78, p. 511-517.
- EC. (2001). *Waste Management Options and Climate Change*. Autors: SMITH, A.; BROWN, K.; OGILVIE, S. [et al.] Luxemburg: European Commission (EC), DG Environment, p. 224. <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/climate_change.pdf> [juny 2009].
- (2006): *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Halting the loss of biodiversity by 2010 and beyond, sustaining ecosystem services for human well-being* (COM(2006) 216 final). Brusel·les: Comissió de les Comunitats Europees (EC).
- (2008). *Conference Soil and Climatic Change*. Brusel·les: Environment Directorate-General of the European Commission, 12th June 2008, <http://ec.europa.eu/environment/soil/conf_en.htm> [juny 2009].
- EC, JRC, IFEAS. (2007). «Environmental Assessment of Municipal Waste Management Scenarios: Part II-Data collection and preliminary assessments for life cycle thinking pilot studies». KONECZNY, K.; PENNINGTON, D. W. (cur.). Luxemburg: European Commission (EC). Joint Research Centre (JRC). Institute for Environment and Sustainability (IFEAS). p. 182. <<http://viso.jrc.ec.europa.eu/lca-waste-partII.pdf>> [juny 2009].
- EEA (2003). *Europe's Environment. The Third Assessment*. European Environment Agency, Copenhagen. Report No 3/2003, p. 90. <http://www.eea.europa.eu/publications/environmental_assessment_report_2003_10> [8 febrer 2008].
- (2008). *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment*. Copenhagen: European Environment Agency (EEA). Report No 4/2008. EEA-JRC-WHO p. 246. <http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4> [juny 2009].
- EMMERICH, W.E. (2003) «Carbon dioxide fluxes in a semi-arid environment with high carbonate soils». *Agricultural and Forest Meteorology*, núm. 116, 91-102.
- ENTRY, J.A.; SOJKA, R.E.; SHEWMAKER, G.E. (2002). «Management of irrigated agriculture to increase organic carbon storage in soils». *Soil Science Society of America Journal*, núm. 66, 1957-1964.
- ESWARAN, H.; REICH, P.F.; KIMBLE, J.M. [et al.] (1999). «Global carbon stocks». A: LAL, R.; STEART, B.A.; KIMBLE, J.M. (eds). *Global climate change and pedogenic carbonates*. Boca Raton, Florida: Lewis Publ. p. 15-26.
- FAO-IFA (2004). «Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH₃, NO y N₂O provenientes de las tierras agrícolas». Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA). 121p. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/globest_s.pdf> [juny 2009].
- FAVOINO, E. (2003). «Organic wastes as a resource for Mediterranean soils». A: LANGENKAMP, H.; MARMO, L. (Eds). *Biological Treatment of Biodegradable Wastes. Technical Aspects*. Workshop in Brussels, 2002. Brussels: DG Environment and the European Commission Joint Research Center (JRC), EUR 20517, p. 249-272.
- (2008). «Optimising the carbon cycle: Potential contribution of composting and biological treatment to tackle climate change». Barcelona: *II Jornades Tècniques de Compostatge de l'ARC*. COMPOSTARC'08. Setmana del compostatge. <<http://www.arc.cat/ca/publicacions/pdf/agencia/compostarc08/programa.pdf>> [juny 2009].
- FAVOINO, E.; HOGG, D. (2008). «The potential role of compost in reducing greenhouse gases». *Waste Management & Research*, núm. 26, p. 61-69.
- FAVOINO, E.; RICCI, M.; GIRÓ, F. (2003). «Optimisation and cost assessment of high-capture sorting schemes for compostable wastes». A: LANGENKAMP, H., MARMO, L. (Eds). *Biological Treatment of Biodegradable Wastes. Technical Aspects*. Workshop in Brussels, 2002. p. 411-434.
- FELIPÓ, M.T. (2005). «Els sòls de Catalunya, un recurs natural limitat». Barcelona: *La terra i el medi*. Cicle

- de conferències. Institut d'Estudis Catalans. Publicacions de la Presidència, núm. 17, p. 13-36.
- (2007). «Legislació ambiental d'aplicació en l'àmbit agrari». *Quaderns agraris*, núm. 31, p. 19-30.
- FELIPÓ, M.T.; BOIXADERA, J. (2003). «Normativa sobre uso, gestión y protección del suelo en Cataluña». *Edafología*, núm. 10, p. 75-109.
- FERNÁNDEZ, M.; SOLIVA, M.; MARTÍNEZ, X.; LÓPEZ, M. (2008). «Interés y necesidad de la caracterización de residuos orgánicos utilizando métodos químicos y biológicos». *Residuos*, núm. 108, p. 30-36.
- FISCHLIN, A.; MIDGLEY, G.F.; PRICE, J.T. [et al.] (eds.). (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: University Press, p. 211-272.
- FOLLETT, R. (2001). «Soil management concepts and soil carbon sequestration in cropland soils». *Soil Tillage Research*, núm. 61, p. 77-92.
- FOSTER, N.W.; MORRISON, I. K. (2002). «Carbon sequestration by a jack pine stand following urea application». *Forest Ecology and Management*, núm. 169, p. 45-52.
- FOWLES, M. (2007). «Black carbon sequestration as an alternative to Bioenergy». *Biomass & Bioenergy*, núm. 31, p. 426-432.
- FOX, O.; VETTER, S.; EKSCHMITT, K.; WOLTERS, V. (2006). «Soil fauna modifies the recalcitrance-persistence relationship of soil carbon pools». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 38, p. 1353-1363.
- GAO, X.; PAL, S.J.; FILIPPO, G. (2006) «Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation». *Geophysical Research Letters*, núm. 33, L03706. DOI 10.1029/2005GL024954.
- GARCIA-PAUSAS, J.; CASALS, P.; CAMARERO, L. [et al.] (2007). «Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography». *Biogeochemistry*, núm. 82, p. 279-289.
- (2008) «Factors regulating carbon mineralization in the surface and subsurface soils of Pyrenean mountain grasslands». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 40, p. 2803-2810.
- GILE, L.H.; HAWLEY, J.W.; GROSSMAN, R.B. (1981). «Soils and geomorphology in the Basin and Range area of Southern New Mexico - Guidebook to the Desert Project». Socorro, NM: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Memoir 39, p. 222.
- GILI, I. (2008). «Contribució dels Tractaments Biològics a la reducció de les emissions de GEH». Barcelona: *II Jornades Tècniques de Compostatge de l'ARC. COMPOSTARC'08*. Setmana del compostatge <<http://www.arc.cat/ca/publicacions/pdf/agencia/compostarc08/programa.pdf>> [juny 2009].
- GILLABEL, J.; DENEFF, K.; BBRENNER, J. [et al.] (2007). «Carbon sequestration and soil aggregation in center-pivot irrigated dryland cultivated farming systems». *Soil Science Society of America Journal*, núm. 71, p. 1020-1028.
- GILMANOV, T.G.; SOUSSANA, J.F.; AIRES, L. [et al.] (2007). «Partitioning European grassland net ecosystem CO₂ exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis Agriculture». *Ecosystems & Environment*, núm. 121, p. 93-120.
- GIRÓ, F. (2006). «Catalunya (Spain) - The challenger of separate collection in Mediterranean counties». Brussel·les: *Workshop on Ecologically sound Use of Biowaste in the EU*. p. 74-91. <http://www.mma.es/secciones/agenda/pdf/tagungsband_brussel.pdf> [juny 2009].
- F. (2007). «El Compostatge de la FORM. Situació Actual». Barcelona: *I Jornades tècniques i de treball sobre el Compostatge*. CompostARC 2007. <http://www.arc.cat/ca/publicacions/pdf/agencia/compostarc_s_i_b1.pdf> [juny 2009].
- GIRÓ, F. (2009). «La Llei de Residus: el desplegament de la recollida selectiva y el tratamiento biológico de la FORM en Catalunya». A: HUERTA, O.; MARTÍNEZ, F.X.; LÓPEZ M., (eds.) *Proceso y destino del compost, formación, información e interrelaciones entre agentes del sector. Ponencias y Comunicaciones de la I Jornadas de la Red Española de Compostaje*, p. 43-74. Barcelona 2008.
- GÓMEZ-LUNA, B.E.; RIVERA-MOSQUEDA, M.C.; DENDOOVEN, L. [et al.] (2009). «Charcoal production at kiln sites affects carbon and N dynamics and associated soil microorganisms in Quercus spp. temperate forests of central Mexico». *Applied Soil Ecology*, núm. 41, p. 50-58.
- GRANANA I FONOLLOSA, S. (2009). «Avaluació d'indicadors de qualitat del sòl. Carboni orgànic, salinitat i sodicitat a les Terres de l'Ebre». Lleida: Universitat de Lleida (Projecte final de carrera).

- GUÉRECA, L.P.; GASSÓ, S.; BALDASANO, J.M.; JIMÉNEZ-GUERRERO, P. (2006). «Life cycle assessment of two bio-waste management systems for Barcelona, Spain». *Resources, Conservation and Recycling*, núm. 49, p. 32-48.
- HERRERO, J.; PÉREZ-COVETA, O. (2005). «Soil salinity changes over 24 years in a Mediterranean irrigated district». *Geoderma*, núm. 125, p. 287-308.
- HIEDERER, R.; JONES, R.J.A. (2007). «Mapping organic carbon content for european topsoils». A: STOLBOVOY, V.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. (eds.). «Carbon Sink Enhancement in Soils of Europe: Data, Modeling, Verification. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability». EUR 23037 EN. < http://eu-soils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR23037.pdf > [juny 2009].
- HOGG, D. (2003). «External cost and benefits of composting and anaerobic digestion». A: LANGENKAMP, H.; MARMO, L. (eds). *Biological Treatment of Biodegradable Wastes. Technical Aspects*. Workshop in Brussels, 2002. Brussels: DG Environment and the European Commission Joint Research Center (JRC), EUR 20517, p. 375-399.
- HORTWART, W.R.; CHESWORTH W. (2008). «Role of methane in the carbon cycle». A: CHESWORTH, W. (ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. Springer, Dordrecht, p. 96.
- HUANG, Y.; JIAO Y.; ZONG, L. [et al.] (2004). «Quantitative dependence of methane emission on soil properties». *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, núm. 64, p. 157-167.
- HUGGINS, D.R.; BUYANOVSKY, G.A.; WAGNER, G.H. [et al.] (1998). «Soil organic carbon in the tallgrass prairie-derived region of the corn belt: effects of long-term crop management». *Soil & Tillage Research*, núm. 47, p. 219-234.
- HYVÖNEN, R.; AGREN, G.I.; LINDER, S. [et al.] (2007). «The likely impact of elevated [CO₂], nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review». *New Phytologist*, núm. 173, p. 463-480.
- IZAURRALDE, R.C.; WILLIAMS, J.R.; POST, W.M. [et al.] (2007). «Long-term modeling of soil carbon erosion and sequestration at the small watershed scale». *Climatic Change*, núm. 80, p. 73-90.
- JASTROW, J.D.; MILLER, R.M.; MATAMALA, R. (2005). «Elevated carbon dioxide increases soils carbon». *Global Change Biology*, núm. 11, p. 2057-2064.
- JIMÉNEZ-BARGALLÓ, I.; SORIANO, J.M.; ALCAÑIZ, J.M. (2004). «Incidencia del cambio de uso del suelo sobre el reservorio de carbono en suelos de montaña del Pirineo Catalán». *I Congresso Iberico da Ciencia do Solo*, 2004, Bragança (Portugal). Libro do resumos, p. 166-167.
- JONES, R.J.A.; HIEDERER, R.; RUSCO E.; MONTANARELLA, L. (2005). «Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support». *European Journal of Soil Science*, núm. 56, p. 655-671.
- JOHNSON, L.C.; SHAVER, G.R.; CADES [et al.] (2000). «Plant carbon nutrient interactions control CO₂ exchange in Alaskan wet sedge tundra ecosystems». *Ecology*, núm. 81, p. 453-469.
- KING, A.P.; EVATT, K.J.; SIX, J.; [et al.] (2009). «Annual carbon and nitrogen loadings for a furrow-irrigated field». *Agricultural Water Management*, núm. 96, p. 925-930.
- KIRKBY, M.J.; JONES, R.J.A.; IRVINE, B. [et al.] (2004). *Pan-European soil erosion risk assessment: the PESERA map version 1 october 2003*. Luxemburg: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities,. <http://eu-soils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/doc_ESBN.html> [juny 2009].
- KIRSCHBAUM, M.U.F. (1995). «The temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic carbon storage». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 27, p. 753-760.
- KLEINER, K. (2009). «The bright prospect of biochar». *Nature Reports, Climate Change*, núm. 3, p. 72-74.
- KÖGEL-KNABNER, I.; ZIEGLER, F. (1993). «Carbon distribution in different compartments of forest soils». *Geoderma*, núm. 56, p. 515-525.
- KONG, A.Y.Y.; SIX, J.; BRYANT, D.C. [et al.] (2005). «The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems». *Soil Science Society of America Journal*, núm. 69, p. 1078-1085.
- KOSMAS, C.; KIRKBY, M.; GEESON, N. (eds.) (1999). *The Medalus project. Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. Luxemburg: European Commission Project Report EUR 18882. <<http://www.kcl.ac.uk/>>

- projects/desertlinks/downloads/publicdownloads/ESA%20Manual.pdf> [juny 2009].
- KUZYAKOV, Y.; SUBBOTINA, I.; CHEN, H. [et al.] (2009). «Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ^{14}C labelling». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 41, p. 210-219.
- LAIRD, A.D. 2008. «The charcoal Vision: A win-win scenario for simultaneously producing bio-energy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality». *Agronomy Journal*, núm. 100, p. 178-181.
- LAL, R. 2001. «Myths and facts about soils and the greenhouse effect», Madison, WI: Soil Science Society of America, Special Publication, núm. 57. pp. 9-26.
- (2004a). «Carbon Sequestration», *Terrestrial Encyclopedia of Energy*, núm. 1: 289-298.
- (2004b). «Soil carbon sequestration to mitigate climate change». *Geoderma*, núm. 123, p. 1-22.
- (2004c). «Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security». *Science* vol. 304, núm. 5677, p. 1623-1627.
- (2008). «Black and buried carbons' impacts on soil quality and ecosystem services». *Soil & Tillage Research*, núm. 99, p. 1-3.
- LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLETT, R.F.; COLE, C.V. (1998). «The Potential of U.S. Cropland to Sequester carbon and Mitigate the Greenhouse Effect». Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- LANDI, A.; MERMUT, A.M.; ANDERSON, D.W. (2003). «Origin and rate of pedogenic carbonate accumulation in Saskatchewan soils, Canada». *Geoderma*, núm. 117, p. 143-156.
- LEHMANN, J. (2007a). «Bio-energy in the black». *Frontiers in Ecology and the Environment*, núm. 5, p. 381-387.
- (2007b). «A handful of carbon». *Nature*, núm. 447, p. 143-144.
- LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. (2006). «Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, núm. 11, p. 403-427.
- LEHMANN, C.J.; JOSEPH, S. (eds.), (2009). «Biochar for environmental management» London: Science and Technology. Earthscan Publishers, p. 448.
- LENTON, T.M.; HUNTINGFORD, C. (2003). «Global terrestrial carbon storage and uncertainties in its temperature sensitivity examined with a simple model». *Global Change Biology*, núm 9, p. 1333-1352.
- LEUKING, M.A.; SCHEPERS, J.S., (1985). «Changes in soil carbon and nitrogen due to irrigation development in Nebraska's sandhill soils». *Soil Science Society of America Journal*, núm. 49, p. 626-630.
- LI, Z.P.; HAN, F.X.; SU, Y. [et al.] (2007). «Assessment of soil organic and carbonate carbon storage in China». *Geoderma*, núm. 138, p. 119-126.
- LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D. [et al.] (2008). «Stability of biomass-derived black carbon in soils». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, núm. 72, p. 6069-6078.
- LÓPEZ, M.; LÓPEZ, S.; FERNÁNDEZ, M. [et al.] (2009). «Determinación de la estabilidad de residuos orgánicos: pruebas respirométricas utilizando un soporte inerte». *Residuos*, núm. 109, p. 32-37.
- LOUWAGIE, G.; GAY, S.H.; BURRELL, A. (eds.) (2009). «Addressing soil degradation in EU agriculture: relevant processes, practices and policies». Luxembourg: SoCo Project, JRC Scientific and Technical Reports. EUR 23767, p. 332. <ftp://ftp.jrc.es/pub/EURdoc/JRC50424.pdf> [juny 2009].
- LUO, Y.; SU, B.; CURRIE, W.S. [et al.] (2004). «Progressive Nitrogen Limitation of Ecosystem Responses to Rising Atmospheric Carbon Dioxide». *BioScience*, núm. 54, p. 731-739.
- MAESTRE, F.T.; CORTINA, J. (2003) «Small-scale spatial variation in soil CO_2 efflux in a Mediterranean semiarid steppe». *Applied Soil Ecology*, núm. 23, p. 199-209.
- MARMO, L. (2007). «EU strategies and policies on soil and waste Management to offset greenhouse gas emissions». *Waste Management*, núm. 28, p. 685-689.
- MARTÍNEZ-BLANCO, J.; MUÑOZ, P.; ANTON, A.; RIERADEVALL, J. (2009). «Life cycle assessment of the use of compost from municipal organic waste for fertilization of tomato crops». *Resources, Conservation and Recycling*, núm. 53, p. 340-351.
- McHENRY, M.P. (2009). «Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, núm. 129, p. 1-7.
- MMA (2008). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España 1990-2006: Sumario Edición 2008*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático. 33p. <http://www.mma.es/secciones/calidad_contami-

- nacion/atmosfera/emisiones/pdf/Sumario_inventario_GEI_Espania_ed_2008_serie_1990-2006.pdf> [juny 2009].
- MOSQUERA, J.; HILHORST, M.A. (2007). «Precise soil management as a tool to reduce N₂O and CH₄ emissions from agricultural soils: literature review». A: VAN AMSTEL, A. (ed.), *4th International Symposium on non-CO₂ greenhouse gases (NCGG-4), science, control, policy and implementation*, Utrecht, Netherlands, 4-6 July 2005.
- NAM, J.J.; GUSTAFSSON, O.; KURT-KARAKUS, P. [et al.] (2008). «Relationships between organic matter, black carbon and persistent organic pollutants in European background soils: Implications for sources and environmental fate». *Environmental Pollution*, núm 56, p. 809-817.
- NIEROP, K.G.J.; VERSTRATEN, J.M. (2003). «Organic matter formation in sandy subsurface horizons of Dutch coastal dunes in relation to soil acidification». *Organic Geochemistry*, núm. 34, p. 499-513.
- NGUYEN, B.N.; LEHMANN, J.; KINYANGI, J. [et al.] (2009). «Long-term black carbon dynamics in cultivated soil». *Biogeochemistry*, núm. 92, p.163-176.
- NOVAK, J.M.; BUSSCHER, W.J.; LAIRD, D.L. [et al.] (2009). «Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil». *Soil Science*, núm. 174, p. 105-112.
- OADES, J.M.; KIRKMAN, M.A.; WAGNER, G.H. (1970). The use of gas-liquid chromatography for the determination of sugars extracted from soil by sulfuric acid». *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, núm. 34, p. 230-235.
- PARTON, W.J.; SCURLOCK, J.M.O.; OJIMA, D.S. [et al.] (2006). «Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide». *Global Change Biology*, núm. 1, p. 13-22.
- POCH, R.M.; HOPMANS, J.W.; SIX, J.W. [et al.] (2006). «Considerations of a field-scale soil carbon budget for furrow irrigation. *Agriculture*». *Ecosystems and Environment*, núm. 113, p. 391-398.
- PONGE, J.F. (2003). «Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity». *Soil Biology and Biochemistry*, 35, p. 935-945.
- QUINTON, J.N.; CATT, J.A.; WOOD, G.A.; STEER, J. (2006). «Soil carbon losses by water erosion: Experimentation and modeling at field and national scales in the UK». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112, p. 87-102.
- RAUPACH M.R.; CANADELL, J.G.; LE QUERE, C. (2008). «Anthropogenic and biophysical contributions to increasing atmospheric CO₂ growth rate and airborne fraction». *Biogeosciences*, núm. 5, p. 1601-1613.
- REICHSTEIN, M.; CIAIS, P.; PAPALE, D. [et al.] (2006). «Reduction of ecosystem productivity and respiration during the European summer 2003 climate anomaly: a joint flux tower, remote sensing and modelling analysis». *Global Change Biology*, núm. 12, p. 1-18.
- RODRÍGUEZ MARTÍN, J.A.; LÓPEZ ARIAS, M.; GRAU CORBÍ, J.M. (2006). «Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geoestatistical methods to study spatial variations». *Environmental Pollution*, núm. 144, p. 1001-1012.
- ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCÍA, J.R.; ALGUACIL, M.M.; CARAVACA, F. (2005). «Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and carbon sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field». *Applied Soil Ecology*, núm. 30, p. 11-20.
- ROVIRA, P.; VALLEJO, V.R. (2002). «Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach». *Geoderma*, núm. 107, p. 109-141.
- (2003). «Physical protection and biochemical quality of organic matter in Mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 35, p. 245-261.
- (2007). «Labile, recalcitrant, and inert organic matter in Mediterranean forest soils». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 39, p. 202-215.
- RUSTAD, L.E.; CAMPBELL, J.L.; MARION, G.M. [et al.] (2001). «A meta-analysis of the response of soil respiration, net N mineralization and above-ground plant growth to experimental ecosystem warming». *Oecologia*, núm.126, p. 543-562.
- SALAZAR, M.; BOSCH-SERRA, A.; ESTUDILLOS, G.; POCH, R.M. (2009). «Rehabilitation of semiarid coal mine spoil bank soils with mine residues and farm organic by products». *Arid Land Research and Management*, núm. 23(4), p. 327-341.
- SAUERBORN, P.; KLEIN, A.; BOTSCHKE, J.; SOWRONECK, A. (1999). «Future rainfall erosivity deived from large-scale climate models-Methods and scenarios for a humid region.» *Geoderma*, núm. 93, p. 269-276.

- SCHILS, R.; KUIKMAN, R.; LISKI, J. [et al.] (2008). *Review of existing information on the interrelations between Soil and Climate Change» ClimSoil*. European Commission: Cont. No 070307/2007/486157/SER/B1, p. 208. <http://ec.europa.eu/environment/soil/publications_en.htm> [juny 2009].
- SCHLESINGER, W.H. (1982). «Carbon storage in the caliche of arid soils: a case of study in Arizona». *Soil Sci.*, núm. 133, p. 247-255.
- (1999). «Carbon sequestration in soils». *Science*, núm. 284, p. 2095. DOI: 10.1126/science.284.5423.2095.
- (2000). «Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, núm. 82, p. 121-127.
- SCHULZE, D.; FREIBAUER, A. (2005). «Carbon unlocked from soils». *Nature*, 437, p. 205-206.
- SEBASTIÀ, M.T.; MARKS, E.; POCH, R.M. (2008). «Soil carbon and plant diversity distribution at the farm level in the savannah region of Northern Togo (West Africa) ». *Biogeosciences Discussions*, núm. 5, p. 4107-4127.
- SHIGA, H. (1997). *The decomposition of fresh and composted organic materials in soil*. Taipei, Taiwan: Food Fertilizer Technol. Center, Ext. Bull. 447., p. 14.
- SIMÓ, I. (2007). «Indicadors de qualitat del sòl en el marc de la Unió Europea. Aplicació a les Terres de l'Ebre». Lleida: Diploma d'Estudis Avançats. Universitat de Lleida.
- SIMÓ, I.; BOIXADERA, J.; GRAÑANA, S.; POCH, R.M. (2008). «The spatial distribution of soil salinity in the Ebro Delta». Valenzano, Bari: Poster i abstract. 5th Int. Conference on Land Degradation, Valenzano, Bari, 18-22 set 2008.
- SINGH, S.K.; SINGH, A.K.; SHARMA, B.K.; TRAFDAR, J.C. (2007). «Carbon stock and organic carbon dynamics in soils of Rajasthan, India». *J. Arid Environments*, núm. 68, p. 408-421.
- SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL E.A.; PAUSTIAN, K. (2002). «Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils». *Plant and Soil*, núm. 241, p. 155-176.
- SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z. [et al.] (2007). «Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, p. 6-28.
- SMITH, P.; SMITH, J.; WATTENBACH, M. [et al.] (2006). «Projected changes in mineral soil carbon of European forests, 1990-2100». *Canadian Journal of Soil Science*, núm. 86, p. 159-169.
- SOHI, S.; LÓPEZ-CAPEL, E.; KRULL, E.; BOL, R. (2009). *Biochar, climate change and soil: A review to guide future research*. Austràlia: CSIRO, Land and Water Science, Report series, report 05/09. p. 64. <<http://www.csiro.au/files/files/poei.pdf>> [juny 2009].
- SOLIVA, M. (2001). *Compostatge i gestió de residus orgànics*. Barcelona: Diputació de Barcelona (Ed.). Servei de Medi Ambient. Estudis i Monografies, 21. p. 111.
- (2004). «Organic Waste in Spain: a problem that should be a resource». A: *Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety, RAMIRAN'2004*. A: BERNAL, M.P.; MORAL, R.; CLEMENTE, R.; PAREDES, C. (eds.). Murcia: p. 15-24. <<http://www.ramiran.net/index.php?page=ramiran04>> [juny 2009].
- SOLIVA, M., FELIPÓ, M.T. (2003). «Organic wastes as a resource for Mediterranean soils». A: LANGENKAMP, H.; MARMO, L. (eds.). *Biological Treatment of Biodegradable Wastes. Technical Aspects*. Workshop in Brussels, 2002. Brussels: DG Environment and the European Commission Joint Research Center (JRC), p. 249-272.
- SOLIVA, M.; LÓPEZ, M.; HUERTA, O. (2008). «Pasado, Presente y Futuro del compost». A: *II International Conference on Soil and Compost Eco-Biology, SoilACE'2008*. Puerto de la Cruz, Tenerife: SoilACE. p. 20.
- SOLIVA, M.; LÓPEZ, M.; HUERTA, O. [et al.] (2005). «Waste organic matter quality versus soil amendment effects» A: *Proceedings of 11th International Conference of the FAO SCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture*. Murcia: Vol.I. pp 201-204.
- SPRINGOB, G.; KIRCHMANN, H. (2002). «C-rich sandy Ap horizons of specific historical land-use contain large fractions of refractory organic matter». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 34, p.1571-1581.
- SSS (1999). *Soil Taxonomy*, 2nd Ed. Washington, DC: USDA-NRCS Agricultural Handbook 436, p. 871. <ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/tax.pdf> [juny 2009].
- STEVENSON, B.A.; VERBURG, P.S.J. (2006). «Effluxed CO₂-13C from sterilized and unsterilized treatments of a calcareous soil». *Soil Biology & Biochemistry*, núm. 38, p.1727-1733
- STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T. [et al.] (2007). «Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation». *Biogeochemistry*, núm. 86, p. 19-31.

- [et al.] (2008). «Soil carbon saturation: Evaluation and corroboration by long-term incubations». *Soil Biology and Biochemistry*, núm.40, p. 1741-1750.
- STOLBOVOY V.; MONTANARELLA, L.; FILIPPI, N. [et al.] (2005). *Soil Sampling Protocol to Certify the Changes of Organic Carbon Stock in Mineral Soils of European Union*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. EUR 21576 EN, p. 21. <<http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/INSEA/News/Stolbovoy/EUR21576.pdf>> [juny 2009].
- TEIRA, R.M. (2008). *Informe per a la millora de la gestió dels purins porcins a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS). p. 225. (Informes del CADS, 5)<http://www15.gencat.net/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informesespecials/2008/definitiva_gestipurins_cat.pdf> [setembre 2009].
- TEIRA-ESMATGES, R.M.; VAN CLEEMPUT, O.; PORTA-CASANELLAS, J. (1998). «Fluxes of Nitrous Oxide and Molecular Nitrogen from Irrigated Soils of Catalonia (Spain)». *J. Environ. Quality*, núm. 27, p. 687-697.
- TENENBAUM, D.J. (2009). «Biochar: Carbon mitigation from the ground up». *Environmental Health Perspectives*, núm. 117, p. A70-A73.
- TÓTH, G.; ADHIKARI, K.; STOLBOVOY, V.; BÓDIS, K. (2008). *Map of saline and sodic soils in Europe*. Ispra, Italy: Institute of Environment and Sustainability, Land Management and Natural Hazards Unit, p.1 <<http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/Salinization/Data.htm>> [juny 2009].
- ÚBEDA, X.; BERNIA, S.; SIMELTON, E. (2005). «Long-term effects in some soil parameters after a forest fire with different fire affection in a Mediterranean Environment». A: GARCÍA, C.; BATALLA, R (eds.), *River and Catchment Dynamics*. Amsterdam: Elsevier, p. 87-102.
- VAN OOST, K.; QUINE, T.A.; GOVERS, G. [et al.] (2007). «The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle». *Science*, núm. 318, p. 626-629.
- VAN-CAMO, L.; BUJARRABAL, B.; GENTILE, A.R. [et al.] (2004). *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. Six Volumes: «Introduction and Executive Summary» EUR 21319 EN/1, Taskgroups on: «Soil Erosion» EUR 21319 EN/2, «Organic Matter and Biodiversity» EUR 21319 EN/3, «Contamination and Land Management» EUR 21319 EN/4, «Monitoring» EUR 21319 EN/5, and «Research, Sealing and Cross-Cutting Issues» EUR 21319 EN/6. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, p. 872. <http://ec.europa.eu/environment/soil/making_en.htm> [setembre 2009].
- VAN HEES, P.A.W.; JONES, D.L.; FINLAY, R. [et al.] (2005). «The carbon we do not see - the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 37, p. 1-13.
- VLEESHOUWERS, L.M.; VERHAGEN, A. (2002). «Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe». *Global Change Biology*, núm. 8, p. 519-530.
- VON LUTZOW, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K. [et al.] (2007). «SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms». *Soil Biology and Biochemistry*, núm. 39, p. 2183-2207.
- WEST, T.O.; MCBRIDE, A.C. (2005). «The contribution of agricultural lime to carbon dioxide emissions in the United States: dissolution, transport, and net emissions». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, núm. 108, p.145-154.
- ZDRULI, P.; JONES, R.J.A.; MONTANARELLA, L. (2004). «Organic Matter in the Soils of Southern Europe», EUR 21083 EN. Luxembourg: European Soil Bureau Technical Report, Office for Official Publications of the European Communities, p. 29. <http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eussoils_docs/esb_rr/n15_OMsouthEurope.pdf> [juny 2009].
- ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; SCHULTEN, H.R. (1994). «Budgets and chemistry of dissolved organic carbon in forest soils: effects of anthropogenic soil acidification». *The Science of the Total Environment*, núm. 152, p. 49-62.
- ZHANG, L.; YU, D.; SHI, X. [et al.] (2009). «Quantifying methane emissions from rice fields in the Taihu Lake region, China, by coupling a detailed soil database with biogeochemical model». *Biogeosciences*, núm. 6, p. 739-749.

12. Ecosistemes marins

Rafel Simó, Eva Calvo, Marta Ribes¹, Carles Pelejero², Rafel Coma³ i Josep Pascual⁴

¹ Institut de Ciències del Mar, CSIC, Barcelona

² ICREA i Institut de Ciències del Mar, CSIC, Barcelona

³ Centre d'Estudis Avançats de Blanes, CSIC, Blanes

⁴ Estació Meteorològica de l'Estartit

Rafel Simó (Barcelona, 1965) es va llicenciar en Químiques a la UAB (1988) i es va doctorar en Química a la UB (1995), després d'haver fet la tesi doctoral al CID (CSIC). L'any 1996 realitzà una estada postdoctoral a la University of East Anglia, al Regne Unit. Des de l'any 1997 és investigador a l'Institut de Ciències del Mar (CSIC), a Barcelona. La seva recerca se centra en entendre i quantificar els intercanvis entre la biosfera dels oceans i l'atmosfera, i el paper que aquests intercanvis tenen en la regulació del clima del planeta. És membre del comitè de direcció del projecte internacional SOLAS (*Surface Ocean Lower Atmosphere Study*), i professor de diversos màsters d'Oceanografia i Canvi Global. L'any 2000 va rebre el premi Ciutat de Barcelona.

Eva Calvo (Mollet del Vallès, 1973) és llicenciada en Ciències Químiques per la UAB (1997) i doctora en Química per la UPC (2001). Realitzà una estada postdoctoral a la Research School of Earth Sciences (ANU) i a Geoscience Australia, Canberra (Austràlia) entre els anys 2001 i 2005 per treballar en temes de paleoceanografia i geoquímica orgànica i inorgànica. L'any 2005 s'incorporà a l'Institut de Ciències del Mar (CSIC) de Barcelona, on actualment gaudeix d'un contracte Ramón y Cajal. La seva recerca inclou l'estudi dels climes del passat i la seva relació amb les variacions de CO₂ atmosfèric i la productivitat biològica marina, per tal de conèixer millor el paper i la capacitat dels oceans per absorbir les emissions de CO₂ presents i futures, i predir la influència i la resposta dels oceans als canvis climàtics.

Carles Pelejero (Barcelona, 1968) és llicenciat en Ciències Químiques per la UAB (1991) i doctor en Química per la UB (2000). Des de l'any 2001 fins al 2005 realitzà una estada postdoctoral a l'Australian National University i a Geoscience Australia, Canberra, Austràlia. L'any 2005 inicià la seva recerca a l'Institut de Ciències del Mar (CSIC) on, l'any 2006, fou contractat per ICREA com a professor d'investigació. La seva recerca, que abraça disciplines com la paleoclimatologia, la paleoceanografia i la química marina, se centra en entendre i quantificar els canvis en el clima i el medi marí, tant en l'actualitat com en el passat. Darrerament inicià una recerca sobre els efectes de la progressiva acidificació dels oceans provocada per l'absorció del CO₂ que els humans estem emetent a l'atmosfera.

Marta Ribes (Miralcamp, Lleida, 1966) és doctora en Biologia per la Universitat de Barcelona (1998). Després d'una estada postdoctoral (1991-2001) al Hawaii Institute of Marine Biology

(Hawaii, USA) es va reincorporar com a investigadora «Ramon y Cajal» a l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona (CSIC) on posteriorment (2007) va esdevenir científic titular. Durant la seva carrera científica s'ha especialitzat en l'estudi de les interaccions entre columna d'aigua i organismes del bentos amb especial èmfasi entre en els intercanvis de compostos dissolts i particulats. La seva recerca actual està enfocada en el paper dels microbis associats a invertebrats marins en la transformació dels compostos capturats i les seves repercussions sobre els cicles biogeoquímics costaners.

Rafael Coma (Vic, 1964) és doctor en Biologia per la Universitat de Barcelona (1994). Va dur a terme la recerca postdoctoral a la State University of New York at Buffalo i al Smithsonian Tropical Research Institute (1994-1996), a l'Institut de Ciències del Mar (CSIC, 1996-1999) i al Hawaii Institute of Marine Biology (1999-2001). Des de l'any 2001 es Científic Titular del CSIC al Centre d'Estudis Avançats de Blanes. La seva recerca aborda l'estudi de la transferència de matèria i energia entre plàncton i bentos, i com aquesta transferència afecta el funcionament dels ecosistemes bentònics litorals sobre substracte rocós. Dins d'aquest marc, els seus estudis se centren principalment en l'energètica dels organismes suspensívors, la biologia de poblacions i els seguiments a llarg termini.

Josep Pascual (l'Estartit, 1950), de família de pescadors. De seguida s'interessà per la meteorologia i pel mar; recollí les primeres dades meteorològiques als 13 anys d'edat i col·labora oficialment des de 1968 amb el Servicio Meteorológico Nacional (avui, Agencia Estatal de Meteorología). Estudià enginyeria tècnica agrícola a l'Escola Industrial de Barcelona. Recull dades continuades (amb periodicitat, de mitjana, setmanal) de la temperatura de l'aigua del mar entre la superfície i els 80 metres de fondària des de l'any 1973, i dades del nivell del mar des del 1990, en col·laboració amb l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona i amb la Reserva Marina de les Illes Medes. Altres paràmetres observats són: temperatura i humitat de l'aire, pluviometria, pressió atmosfèrica, vents, nuvolositat, evaporació i onatge.

Resum	473
12.1. El medi geofísic: hi ha proves de canvis?	475
12.1.1. Temperatura de l'aigua del mar	475
12.1.2. Nivell del mar	476
12.1.3. Salinitat	478
12.1.4. Estabilitat de la columna d'aigua: barreja vertical i estratificació	479
12.1.5. Corrents marins, onatge i freqüència de tempestes	481
12.1.6. L'acidificació dels oceans, germana bessona de l'escalfament global	481
12.2. Vulnerabilitat dels ecosistemes marins mediterranis	483
12.3. La comunitat del coral·ligen mediterrani	485
12.3.1. Introducció	485
12.3.2. Proves de canvis	485
12.3.3. Sinergies	486
12.3.4. Tendències previstes	487
12.4. Peixos d'interès comercial	488
12.4.1. Introducció	488
12.4.2. Proves de canvis	489
12.4.3. Sinergies	490
12.4.4. Tendències previstes	490
12.5. Meduses al litoral	490
12.5.1. Introducció	490
12.5.2. Proves de canvis	490
12.5.3. Sinergies	492
12.5.4. Tendències previstes	492
12.6. Productors primaris i heteròtrofs del plàncton	493
12.6.1. Introducció	493
12.6.2. Proves de canvis	493
12.6.2.1. Productors primaris planctònics (fitoplàncton)	493
12.6.2.2. Zooplàncton	494
12.6.2.3. Bacterioplàncton	495
12.6.2.4. Metabolisme de la comunitat	495

12.6.3. Sinergies	495
12.6.3.1. Eutrofització	495
12.6.3.2. Acidificació	496
12.6.4. Tendències previstes	496
12.7. Necessitats de gestió, seguiment i recerca	497
Referències	497

Resum

La Mediterrània és una mar semitancada que actua com a conca d'evaporació de l'aigua atlàntica que entra per Gibraltar. És una mar oligotròfica en conjunt, que acull una gran biodiversitat i presència d'espècies endèmiques. Les poques dades existents apunten que l'escalfament global es reflecteix a la Mediterrània amb una pujada del nivell del mar durant el segle passat i, en els últims 30 anys, un increment de la temperatura de l'aigua superficial d'uns 0,7 °C, una progressiva salinització de les aigües mitjanes i profundes, i un enfortiment de l'estratificació. Els models prediuen que aquestes tendències s'han de mantenir. De fet, la referència més plausible a allò que espera a la Mediterrània la podem trobar en els períodes perllongats de fase positiva de l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO) que ja hem tingut, i que han representat una disminució apreciable de la pluviometria i del vent, un escalfament de l'aigua superficial, i un allargament del període d'estratificació. Els efectes sobre els ecosistemes de la Mediterrània ja s'han deixat veure per mitjà de: (a) una tropicalització de les espècies d'algues, invertebrats i vertebrats, amb afavoriment de les espècies més termòfiles respecte a les més pròpies de mars temperades; això val també per als peixos d'interès comercial,

sobretot aquells les poblacions dels quals ja es troben en una situació crítica per l'explotació pesquera; (b) episodis de mortalitat massiva d'invertebrats sèssils del coral·ligen mediterrani, deguts a períodes d'escalfament anòmal de l'aigua en l'època en què l'aliment escasseja; (c) afavoriment del fitoplàncton i els herbívors més petits per causa de l'allargament del període d'estratificació de l'aigua, i afavoriment dels carnívors gelatinosos, incloses les meduses; pel que fa a aquestes últimes, l'augment de la temperatura n'afavoreix la reproducció, i la falta de pluviometria afavoreix que les brises les acostin a les platges; (d) una disminució de la capacitat de la Mediterrània per capturar CO₂ atmosfèric, com a resultat dels canvis anteriors i de la disminució de la solubilitat d'aquest gas amb la temperatura de l'aigua. Davant dels canvis previstos, la voluntat d'anticipar-los i mitigar-los en la mesura del possible, i la necessitat de fer-ne un seguiment, hom recomana invertir en coneixement (recerca i observació), conservació de zones que serveixin d'indicadors de canvis relacionats amb el clima, i reducció de les sinergies que acceleren aquests canvis, com la sobrepesca, la destrucció i transformació d'hàbitats, la sobreexplo-tació dels recursos hídrics a terra, i la pol·lució.

12.1. El medi geofísic: hi ha proves de canvis?

Per detectar l'existència de canvis en el medi marí i poder-ne quantificar la magnitud, és indispensable disposar de sèries temporals dels paràmetres fisicoquímics clau que es vulguin avaluar (temperatura, salinitat, etc.). Només així, per mitjà de l'anàlisi estadística de la variabilitat en el temps, som capaços, en primer lloc, d'evidenciar l'existència de canvis i, en segon lloc, d'adjudicar-ne una correspondència amb les activitats antròpiques i el canvi climàtic global associat. Si bé a terra disposem històricament d'una xarxa considerable d'estacions meteorològiques, als mars i oceans hi ha una gran mancança de dades instrumentals, sobretot causada per les dificultats logístiques.

A la costa catalana, gràcies a la dedicació altruista i minuciosa de Josep Pascual, observador meteorològic de l'Estartit, disposem d'una sèrie temporal única a la Mediterrània nord-occidental. Des de l'any 1969, i sense interrupcions des de 1974, Josep Pascual mesura la temperatura de l'aigua del mar a diverses fondàries (des de la superfície fins a 80 m) en un punt fix, l'estació de l'Estartit. Aquest punt està situat a 4 km del port d'aquesta població, 1,7 km a llevant de les illes Medes, sobre un fons proper als 90 m.

La freqüència de les observacions de Pascual és, com a mínim, setmanal i, a més de la temperatura de l'aigua, des d'èpoques més recents també hi mesura salinitat i nivell del mar, entre altres variables (Salat i Pascual, 2006). La valuosa sèrie temporal de l'estació de l'Estartit mostra variabilitats intraanuals i interanuals clares de diverses variables, i hi destaca una tendència molt clara d'escalfament de les aigües en els últims 30 anys en totes les fondàries estudiades.

A continuació descrivim les tendències més característiques en l'evolució de determinades variables fisicoquímiques marines, amb base en la recerca científica més recent, i discutim l'existència de canvis significatius en les darreres dècades i la seva possible relació amb el canvi climàtic global.

12.1.1. Temperatura de l'aigua del mar

A escala global, tal com es recull en el darrer informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC), les temperatures de l'oceà superficial han augmentat, de mitjana, uns 0,7 °C des de principis del segle XX (Trenberth *et al.*, 2007). Les projeccions que fan els models climàtics per al segle XXI apunten cap a increments encara més grans. Pel que fa a la temperatura global de l'aire, durant aquest segle

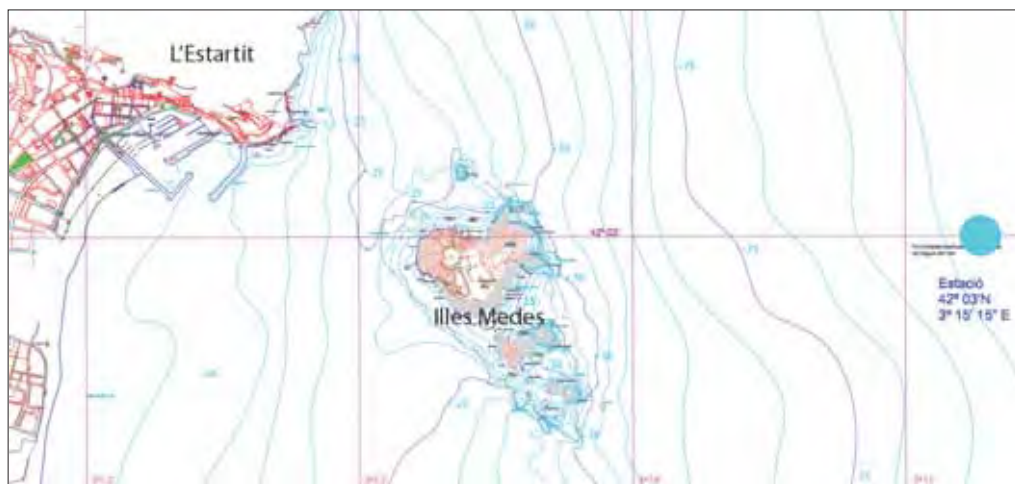


Figura 1. Localització de l'estació oceanogràfica de l'Estartit, on Josep Pascual ha recollit dades oceanogràfiques des de l'any 1973.

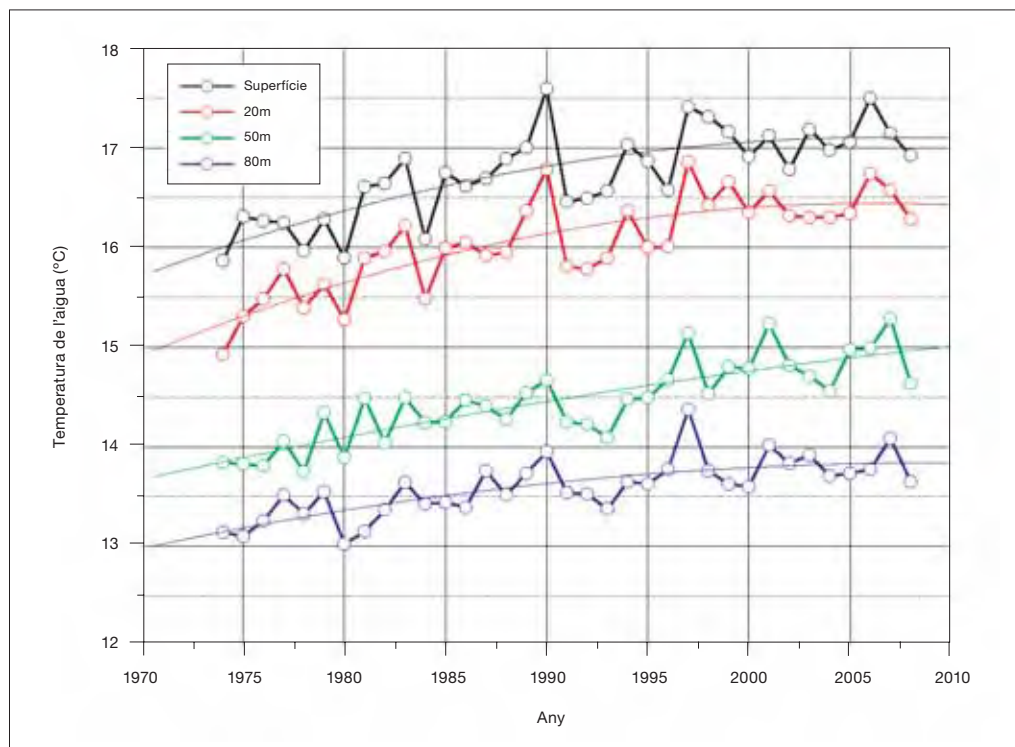


Figura 2. Evolució temporal de les temperatures marines mitjanes anuals a l'estació de l'Estartit durant el període 1974-2008. Font: Josep Pascual.

podria augmentar entre 1,8 °C i 4 °C, segons quins escenaris es considerin (Meehl *et al.*, 2007). En general, amb l'excepció de les latituds més altes, on les variacions en l'extensió de gel marí tenen un paper important, els mars i oceans s'estan escalfant, i s'escalfaran, una mica més lentament que l'aire.

A la Mediterrània occidental, la temperatura de les capes més superficials mostra una clara tendència ascendent durant els darrers 30 anys. Això ho observen, per exemple, Rixen *et al.* (2005), que documenten un augment d'uns 0,6 °C en els primers 150 m de la columna d'aigua entre els anys 1980 i 2000. Aquest augment coincideix amb el que s'observa a l'estació de l'Estartit (Pascual, 2005; Salat i Pascual, 2002; Salat i Pascual, 2006): uns 0,7 °C a l'aigua més superficial en els darrers 30 anys.

El canvi de temperatura experimentat per la Mediterrània nord-occidental en les darreres dècades ha estat, aparentment, força més acusat que el que experimenten els oceans a escala glo-

bal. No obstant això, sembla ser que, abans de l'any 1980 i des de 1950, la temperatura superficial de la zona havia experimentat un refredament progressiu (Vargas-Yáñez *et al.*, 2009). Si tenim en compte aquest període anterior, no registrat a la sèrie de l'estació de l'Estartit, l'augment de temperatura experimentat en aquesta zona en els últims 60 anys és més semblant a la mitjana global.

Tal com ho descriurem en les properes seccions, els augments de la temperatura són crítics per a moltes espècies i ecosistemes marins, i duen associats, per exemple, canvis en la biogeografia d'espècies autòctones, incorporacions de noves espècies, episodis de mortalitat massiva en ecosistemes fràgils, o variacions en el metabolisme i serveis de l'ecosistema.

12.1.2. Nivell del mar

Durant el segle xx, el nivell del mar ha augmentat, a escala global, aproximadament uns 1,7 mm per any, o 1,8 mm per any entre 1961 i 2003

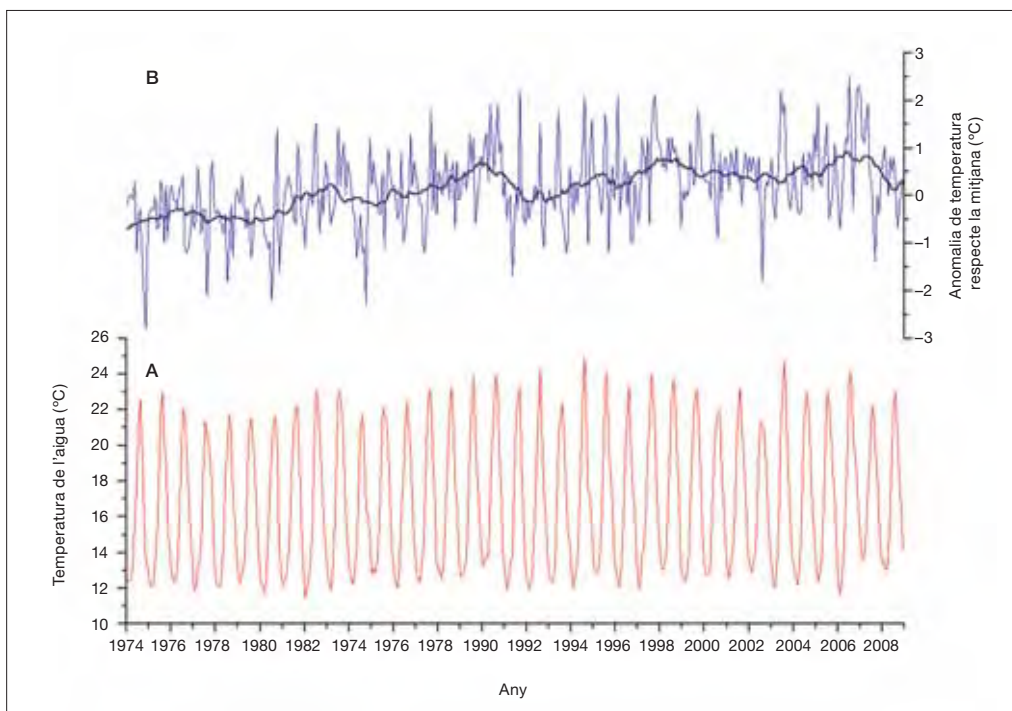


Figura 3. Registre instrumental de temperatures superficials marines a l'estació de l'Estartit durant el període 1974-2008. (A) Mitjanes mensuals. (B) Anomalies de temperatura calculades per diferència entre les mitjanes mensuals al llarg de la sèrie temporal i la mitjana de cada mes calculada durant tot el període (mitjana climàtica). El traç més gruixut representa les dades suavitzades mitjançant una mitjana mòbil de 24 mesos.

Font: Josep Pascual.

(Bindoff *et al.*, 2007). Les projeccions dels models climàtics apunten cap a augments tan o més ràpids, que farien pujar el nivell del mar 18-59 cm en el període entre 1980-1999 i 2090-2099 (Meehl *et al.*, 2007).

Reconstruccions basades en proves arqueològiques mostren que el nivell del mar a la Mediterrània s'ha mantingut aproximadament constant durant els darrers 2000 anys, i no ha estat fins als darrers 100 anys que ha començat a augmentar de manera significativa (Lambeck *et al.*, 2004; Sivan *et al.*, 2004), tot coincidint amb l'augment de temperatura associat amb el canvi climàtic global.

Les mesures del nivell del mar enregistrades al port de l'Estartit, iniciades l'any 1990 per Josep Pascual, permeten tenir una idea més precisa dels canvis a la Mediterrània nord-occidental. Aquestes dades mostren un augment d'uns 3,4 mm per any des del 1990 fins avui (figura 4;

vegeu també Vargas-Yáñez *et al.*, 2008), que és significativament més acusat que l'augment del nivell del mar mitjà a escala global. Sembla ser, tanmateix, que el nivell del mar a la Mediterrània des del 1950 fins al 1990 havia baixat, probablement com a resultat d'un augment prolongat de la pressió atmosfèrica (Vargas-Yáñez *et al.*, 2007). Cal tenir en compte que la pujada del nivell del mar a escala global es deu, sobretot, a la dilatació tèrmica de les aigües producte de l'escalfament i a l'augment de massa d'aigua degut a la fusió de gels continentals, però que, a escala regional, la pressió atmosfèrica hi té un paper molt important: les altes pressions fan baixar el nivell del mar i les baixes pressions l'elevan (Gomis *et al.*, 2008). A la Mediterrània, la variació interanual de la pressió atmosfèrica ve força regulada per la denominada oscil·lació de l'Atlàntic Nord o NAO (*North Atlantic Oscillation*), que relaciona les diferències de pressió atmosfèrica

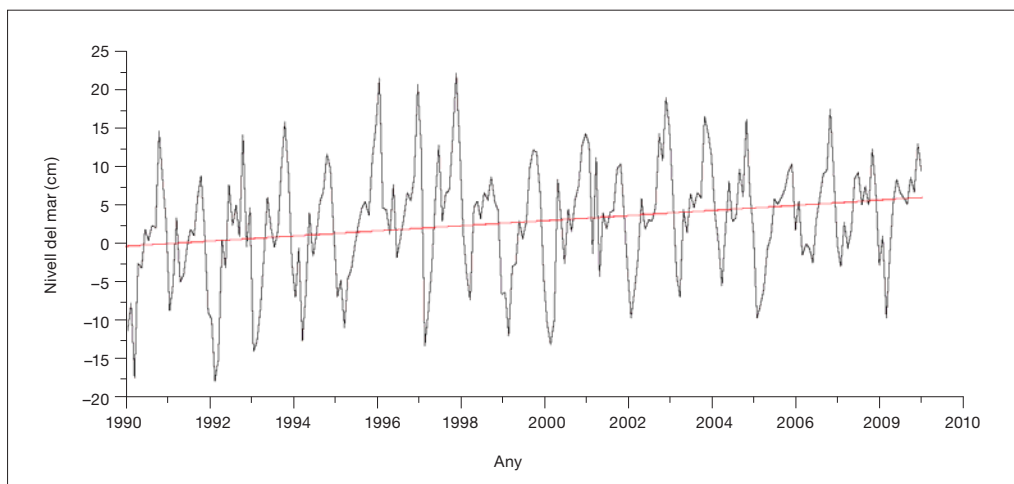


Figura 4. Registre instrumental del nivell del mar al port de l'Estartit, per al període 1990-2008. En negre hi ha representada l'evolució de les mitjanes mensuals, i en vermell la regressió lineal, on es veu la tendència creixent durant aquest període. Font: Josep Pascual.

entre Islàndia i Portugal (Visbeck *et al.*, 2001). La NAO presenta tendències decennals de variabilitat, i exerceix influència sobre les variacions del nivell del mar a la Mediterrània a escales de decennis (Tsimplis i Josey, 2001). Un treball més recent (Gomis *et al.*, 2008) ha mostrat també una correlació important entre les variacions del nivell del mar a la Mediterrània i un altre índex de variabilitat anomenat índex de l'oscil·lació del Mediterrani o MOI (*Mediterranean Oscillation Index*), definit originalment com la diferència de pressions entre l'Atlàntic nord i el sud-est de la Mediterrània (Supic *et al.*, 2004).

Curiosament, l'augment clar de nivell del mar que s'observa a l'Estartit no s'aprecia als registres dels ports de València i Barcelona, que inclouen dades des de l'any 1992 (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2010). A l'espera que s'estudiïn més a fons aquestes divergències, un aspecte que cal tenir en compte és que l'aigua de l'Estartit, més a prop del golf de Lleó, sovint té una temperatura i una salinitat (i, per tant, una densitat) diferents de la de les costes centrals catalana i valenciana, amb la qual cosa és d'esperar que les altures de columna d'aigua mostrin diferències apreciables.

L'increment progressiu del nivell del mar, fortament relacionat amb el canvi climàtic global, pot tenir un impacte important en els ecosistemes marins, sobretot en els costaners, per mitjà

dels efectes en la migració i l'erosió de les platges i de les línies de costa. En aquests ambients amb tanta pressió demogràfica, els efectes dels canvis en el nivell del mar se sumen als de la influència humana directa, generalment molt més significatius (Chust *et al.*, 2009).

12.1.3. Salinitat

Algun treball ha apuntat a una recent disminució global de la salinitat als oceans (Antonov *et al.*, 2002). No obstant això, aquestes estimacions basades en una quantitat limitada d'observacions són poc robustes i presenten incerteses importants (Bindoff *et al.*, 2007). En aquest sentit, una fita important és el recent llançament, al novembre de 2009, d'un sensor a bord d'un satèl·lit de l'Agència Espacial Europea, que permetrà, per primera vegada, la realització de mapes globals de salinitat als mars i oceans. Aquesta activitat, amb forta participació catalana tant científica com tecnològica, s'emmarca dins el projecte SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*) del qual podeu trobar més informació al portal <<http://www.cp34-smos.icm.csic.es/index.htm>>.

A la Mediterrània, les evidències recollides fins ara apunten més aviat cap a una situació contrària a la global, cap a una progressiva salinització de les aigües, sobretot en les capes intermèdies i profundes (de més de 150 m de fondària) (figura 5;

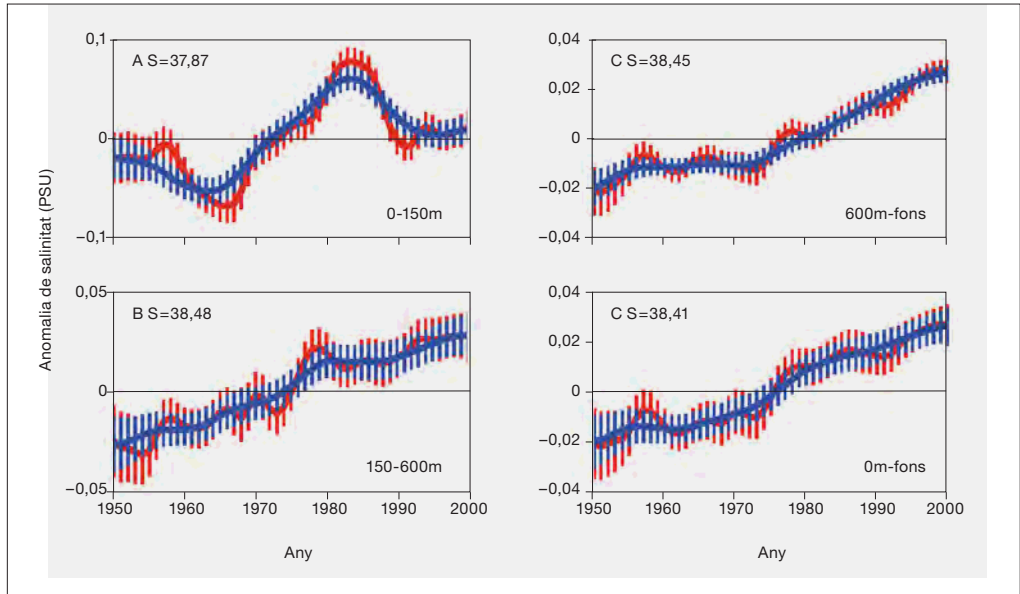


Figura 5. Variabilitat de la salinitat de la Mediterrània occidental a diferents fondàries durant la darrera meitat del segle xx. Es representen anomalies de salinitat respecte a les mitjanes de la capa de la columna d'aigua (A) entre la superfície i 150 m, (B) entre 150 i 600 m, (C) entre 600 m i el fons, i (D) a tota la columna d'aigua. Les dades s'han suavitzat mitjançant una finestra gaussiana mòbil de 10 (blau) i 5 (vermell) anys, i les barres verticals representen ± 1 desviació estàndard.

Font: adaptada de Rixen et al. (2005).

Rixen et al., 2005; Vargas-Yáñez et al., 2009). Aquest augment de la salinitat sembla que està relacionat amb la disminució general de les precipitacions, amb l'augment de l'evaporació a la zona de la Mediterrània, i amb la disminució del cabal dels rius que hi desemboquen per causa de la construcció de preses i embassaments (Vargas-Yáñez et al., 2007). Curiosament, a la Mediterrània, encara que s'observa una davallada en els valors totals de l'aigua que precipita, ha augmentat el nombre de pluges torrencials (Alpert et al., 2002).

Els canvis de la salinitat observats a mar obert en les darreres dècades són d'una magnitud relativament petita, però poden ser crítics per a la circulació dels corrents marins, l'estabilitat de la columna d'aigua i, en conseqüència, l'aportació de nutrients des de capes profundes cap a la zona fòtica. Això pot trasbalsar l'estructura de les comunitats de productors primaris planctònics i les cadenes tròfiques que alimenten (e.g., Learmonth et al., 2006). Com descriurem més endavant, les meduses semblen força sensibles també als canvis de salinitat, i tendeixen a acostar-se més a la

costa en períodes de sequera, quan els cabals d'aigua dolça dels rius es veuen molt disminuïts. En zones costaneres, l'expansió en la construcció de plantes dessalinitzadores també afecta, encara que de manera molt local, la salinitat de les aigües, sobretot d'aquelles que són properes als abocaments de les salmorres. Espècies com la *Posidonia oceanica*, per exemple, són molt sensibles i vulnerables a canvis de salinitat com els associats amb aquest tipus d'infraestructures (Sanchez-Lizaso et al., 2008). De fet, en relació amb aquestes fanerògames marines, un treball recent ha posat de manifest la seva alta vulnerabilitat a l'escalfament de les aigües (Marbà i Duarte, 2010). Segons les mesures de camp i els càlculs d'aquest treball, la mortalitat de la *Posidonia oceanica* a la mar Mediterrània augmenta un 3% per cada grau que augmenta la temperatura de l'aigua.

12.1.4. Estabilitat de la columna d'aigua: barreja vertical i estratificació

A escala global, les prediccions amb models climàtics apunten cap una progressiva estratificació de la columna d'aigua (Sarmiento et al., 1998).

A latituds baixes, això es deu a l'augment de la temperatura de l'aigua del mar, que és més acusat a la superfície que en capes més profundes. A latituds altes, en canvi, sembla que la intensificació de l'estratificació de les aigües està més relacionada amb l'augment de les precipitacions. Ambdós processos augmenten la flotabilitat de les aigües superficials, estableixen la columna d'aigua i dificulten la barreja vertical d'aigües super-

ficials (més riques en oxigen però més pobres en nutrients) i profundes (a l'inrevés).

A la Mediterrània nord-occidental, un treball recent que parteix de les dades recollides per Josep Pascual a l'estació de l'Estartit mostra com, durant les darreres dècades, l'estratificació s'ha intensificat (Coma *et al.*, 2009). Com mostra la figura 6a, la diferència entre les temperatures superficials i les profundes ha augmentat durant els

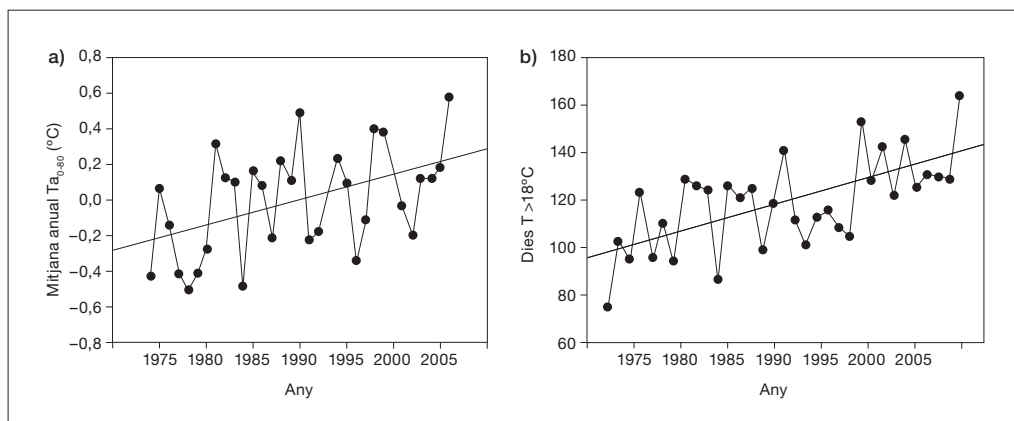


Figura 6. Tendències calculades partint de les dades de temperatura de la sèrie de l'Estartit, per al període 1974-2006, en: a) la diferència de temperatura de l'aigua del mar entre la superfície i els 80 m de fondària (calculada com l'anomalia entre la diferència observada i la diferència mitjana de tot el període); b) el nombre de dies de cada any en què la temperatura a 20 m va ser superior a 18 °C, que caracteritza la situació d'estratificació de la columna d'aigua.

Font: adaptada de Coma *et al.*, 2009.

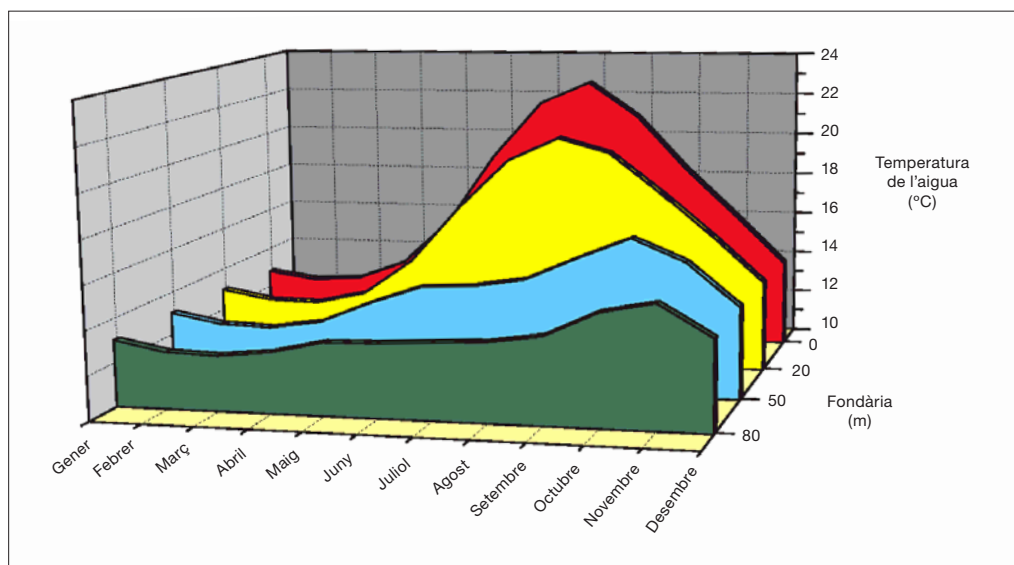


Figura 7. Cicle anual d'acord amb les mitjanes mensuals de temperatura de l'aigua de mar a l'estació de l'Estartit, en quatre fondàries diferents (superfície, 20 m, 50 m i 80 m). Dades de Josep Pascual per al període 1974-2008.

últims 30 anys. Cal tenir en compte que, a la Mediterrània nord-occidental, la columna d'aigua passa per dos períodes molt diferenciats, un d'homogeneïtat tèrmica, de desembre/gener a març, en què la columna d'aigua està barrejada, i un d'estratificació, d'abril a novembre/desembre, en què s'estableix un gradient vertical de temperatura i densitat important (figura 7). L'anàlisi de les dades de la sèrie temporal de l'Estadística també mostra com la durada del període d'estratificació ha augmentat en les darreres dècades (Coma *et al.*, 2009). A la figura 6b podem veure com la durada del període d'estratificació (aquí definit com el temps en què la temperatura de l'aigua de 20 m supera els 18 °C) s'ha allargat des de 75 fins a 164 dies entre l'any 1974 i el 2006.

12.1.5. Corrents marins, onatge i freqüència de tempestes

Segons el darrer informe de l'IPCC, a escala global la freqüència d'esdeveniments extrems (onades de calor, sequeres, inundacions, huracans) ha augmentat en les darreres dècades (Trenberth *et al.*, 2007), i és previsible que encara ho faci més en el futur (Meehl *et al.*, 2007). Una atmosfera amb més diòxid de carboni és, degut al seu escalfament, una atmosfera més energètica, amb més capacitat d'emmagatzemar vapor d'aigua, i amb més probabilitat de desencadenar fenòmens meteorològics extrems. Amb l'escalfament global, l'energia de mars i oceans també ha augmentat, cosa que hom ha relacionat amb l'augment de la durada i la intensitat de tempestes tropicals i huracans enregistrat des dels anys setanta (Trenberth *et al.*, 2007). El nombre d'huracans de força 4 i 5, per exemple, ha augmentat un 75% des de 1970.

En principi, aquesta intensificació d'esdeveniments extrems hauria de ser vàlida també per a la Mediterrània, i s'hauria de traduir en més temporals de mar i episodis d'onatge intens, acompanyats de la intensificació dels vents. Les poques dades de sèries temporals que es tenen fins ara, tanmateix, no permeten distingir tendències clares en aquest aspecte, tot i que, durant les darreres dècades, la Mediterrània nord-occidental ha experimentat diversos esdeveniments de tempesta severa (Sánchez-Arcilla *et al.*,

2008; 2010). Curiosament, pel que fa a projeccions de futur, els treballs de recerca realitzats fins ara apunten més aviat cap a una suavitització de les tempestes (Lionello *et al.*, 2008); tanmateix, les sèries instrumentals de mesures d'onatge, totes inferiors a 25 anys, fan difícil la predicció dels fenòmens extrems relacionats amb la dinàmica marina (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008). El que sí que sembla previsible és l'augment d'onades de calor i sequeres (Beniston *et al.*, 2007), i un augment d'extrems en la precipitació (Lopez-Moreno i Beniston, 2009).

En qualsevol cas, si l'augment energètic del sistema mar-atmosfera es tradueix, com fóra esperable, en un augment en la freqüència o de la intensitat d'episodis extrems de circulació atmosfèrica i, per tant, de temporals i tempestes d'onatge, aquest canvi podria afectar tant els ecosistemes marins associats als fons sorrencs i rocosos, castigats per les llevantades, com l'ecosistema pelàgic, que a les nostres costes presenta una dinàmica profundament influïda per les entrades d'energia cinètica externa (Guadayol *et al.*, 2009).

El canvi climàtic també podria ocasionar alteracions en els patrons de circulació marina de la mar Mediterrània, que vénen determinats per canvis en la densitat de les aigües, més que no pas per l'efecte dels vents (Font, 1990). Els canvis en la salinitat i temperatura esmentats anteriorment podrien, doncs, induir alteracions en els corrents marins. Tanmateix, malgrat que hom ha descrit canvis importants en la dinàmica dels corrents marins, sobretot dels profunds (vegeu el treball de revisió a CIESM, 2009), no existeixen encara prediccions concretes sobre els canvis esperables en el futur. De cara als ecosistemes marins, alteracions en els corrents marins podrien afectar, per exemple, els moviments migratoris d'espècies marines que s'hi deixen arrossegat.

12.1.6. L'acidificació dels oceans, germana bessona de l'escalfament global

És ben sabut i reconegut que l'augment del contingut de CO₂ a l'atmosfera degut a les activitats antròpiques està provocant, a través de l'efecte d'hivernacle, l'escalfament global del planeta. El que no és tan conegut és que, de fet, bona part del

CO_2 que emetem els humans està essent absorbit pels mars i oceans (Sabine *et al.*, 2004). Si no fos per aquesta absorció, la concentració actual de CO_2 a l'atmosfera seria al voltant de 450 ppmv (Doney *et al.*, 2009) en lloc de 384.8 ppmv (dades per al 2008 de Pieter Tans, NOAA/ESRL, <www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>), i s'hauria exacerbat l'escalfament global. L'absorció oceànica de CO_2 , tanmateix, porta associat un problema important: la progressiva acidificació de l'aigua. Tan bon punt les molècules de CO_2 penetren al mar, intervenen en una sèrie d'equilibris químics (figura 8a) que es tradueixen en: a) un augment de la concentració de protons o ions hidrogen i, per tant, una baixada del pH, i b) una disminució de la concentració d'ions carbonat (figura 8b), que són els maons que utilitzen els organismes calcificadors com els coralls, els musclos, les algues coccolitoforals o els pteròpodes per a construir el seu esquelet o estructura. Són, doncs, aquests organismes calcificadors els que es veuen més afectats per l'acidificació, que en dificulta el creixement. Els canvis en la química de l'aigua del mar derivats de la dissolució del CO_2 antropogènic són prou importants per a afectar

també altres processos químics, com l'especiació dels nutrients i dels metalls, i biològics, com la fisiologia reproductiva o la relacionada amb el bescanvi de gasos. Les possibles repercussions de la progressiva acidificació dels mars i oceans abracen, doncs, des dels efectes en els organismes individuals fins als impactes en els ecosistemes i els cicles biogeoquímics (vegeu revisions sobre el tema a Doney *et al.*, 2009; Fabry *et al.*, 2008; Guinotte and Fabry, 2008; Pelejero *et al.*, 2010).

Hom calcula que, de mitjana, el pH dels oceans ja ha disminuït unes 0,1 unitats en relació amb els nivells preindustrials (Raven *et al.*, 2005). Encara que sembli una quantitat petita, cal tenir en compte que l'escala de pH és logarítmica, i que una disminució de 0,1 unitats de pH representa un augment en la concentració de protons del 30%. Les projeccions de canvis de pH depenen del CO_2 que emetem els humans a l'atmosfera, i del temps que triguem a fer-ho (Zeebe *et al.*, 2008). Hom preveu que, a finals del segle XXI, el descens podria ser de 0,3 o 0,4 unitats (Steinacher *et al.*, 2009). Aquest canvi significaria un augment en la concentració de

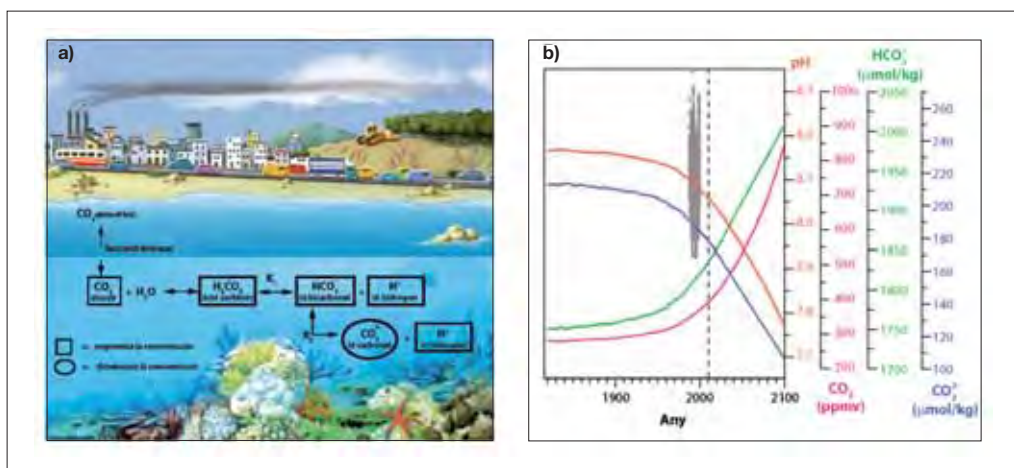


Figura 8. Química de l'acidificació oceànica, reaccions i evolució temporal. a) Visió esquemàtica de la perturbació antropogènica del cicle del carboni als mars i oceans, amb els equilibris químics en els quals intervé el CO_2 quan és absorbit per l'aigua de mar. K_1 i K_2 són les constants de dissociació de l'àcid carbònic i de l'ió bicarbonat, respectivament. Les espècies químiques contingudes en rectangles mostren un augment de concentració, i les contingudes en líl·lipes mostren una disminució. b) Dades mitjanes globals del pH a la superfície del mar (en taronja), del CO_2 atmosfèric (magenta), de l'ió bicarbonat (verd) i de l'ió carbonat (blau) des de 1820 fins a l'any 2000, i projeccions fins a l'any 2100, segons dades de Steinacher *et al.* (2009) i càlculs de Pelejero *et al.* (2010). El núvol de punts grisos conté els valors de pH de l'aigua superficial en la darrera dècada (mitjana dels primers 50 m de fondària de tots els oceans), i mostra el grau d'heterogeneïtat espacial que presenta l'acidesa de l'aigua del mar.

Font: adaptació de Pelejero *et al.*, 2010.

protons del 150% i una disminució de la concentració d'ió carbonat del 50% (figura 8b). Els estudis paleoceanogràfics han mostrat que no hi ha precedents de canvis d'aquesta magnitud durant, com a mínim, els darrers 20 milions d'anys (Pelejero *et al.*, 2010).

La mar Mediterrània té certes característiques que la fan especialment sensible i vulnerable als canvis de CO₂ a l'atmosfera i a la progressiva acidificació. El temps de residència de les aigües profundes de la Mediterrània (de 15 a 50 anys per a les conques algeroprovençal i oriental, respectivament; Bethoux *et al.*, 2002, 2005) és molt petit en comparació amb el dels oceans de la Terra (de segles a mil·lenis per a l'Atlàntic Nord i els oceans globals, respectivament; Broecker, 1979, 1980). Això fa que la penetració de CO₂ antropogènic, que als oceans pot trigar de segles a mil·lenis segons les regions i profunditats, sigui molt més ràpida a la Mediterrània, on cal esperar que es manifestin abans els canvis associats. Per altra banda, la Mediterrània és més salada i té més alcalinitat que els oceans globals, amb una capacitat més alta, per tant, d'acceptar CO₂. Molt recentment, l'únic treball que ha pogut quantificar fins ara les variacions en la quantitat de carboni d'origen antropogènic que ha entrat a la Mediterrània durant la darrera dècada (Touratier i Goyet, 2009), ha mostrat uns nivells de penetració de CO₂ significativament més importants que els que es troben a l'Atlàntic (Vázquez-Rodríguez *et al.*, 2009). En concret, a la Mediterrània nord-occidental hom troba concentracions de carboni d'origen antropogènic iguals o superiors a 50 µmol/kg fins a fondàries de 2000 m. A l'Oceà Atlàntic, a aquestes profunditats únicament trobem valors màxims de 20-30 µmol/kg, i només en zones d'altres latituds caracteritzades per la formació d'aigües profundes. Aquests resultats suggereixen que, a la mar Mediterrània, l'absorció de CO₂ i, per tant, l'acidificació de les aigües, s'està esdevenint més ràpidament que a l'Oceà Atlàntic, que és, entre tots els oceans de la Terra, l'embornal de CO₂ més important. Un informe recent descriu de manera força exhaustiva les possibles repercussions de l'acidificació a la Mediterrània (CIESM, 2008), encara que la recerca en aquest àmbit tot just ha començat.

12.2. Vulnerabilitat dels ecosistemes marins mediterranis

L'ampli ventall de processos que es veuen afectats pel canvi climàtic (meteorològics, químics, biològics) fa molt difícil la predicció de la magnitud i la rapidesa dels efectes sobre els ecosistemes, també els ecosistemes marins. Hi ha tres aspectes clau a l'hora d'entendre la dimensió potencial dels efectes que el canvi climàtic comporta per a la natura i per a les societats humanes. El primer són els canvis no lineals de velocitat deguts a fenòmens de retroacció positiva o negativa. El segon és la inèrcia del fenomen. El tercer és l'assoliment de llindars que iniciïn o consolidin la transició a nous estats d'equilibri. Només un bon coneixement del funcionament del sistema permetrà entendre, interpretar i preveure les conseqüències d'un fenomen de la ubiqüitat del canvi climàtic. En aquest sentit, a causa de factors històrics principalment relacionats amb la dificultat òbvia d'estudiar el mar, el coneixement dels ecosistemes marins està encara molt per darrere del dels ecosistemes terrestres.

La mar Mediterrània té unes característiques peculiars pel fet d'estar semitancada, amb una connexió estreta amb l'Atlàntic a través de l'estret de Gibraltar, la connexió artificial amb la mar Roja pel canal de Suez i la connexió amb la mar Negra a través de l'estret del Bòsfor. La Mediterrània és una regió d'alta diversitat biològica: tot i ocupar només el 0,82% de la superfície mundial dels oceans, conté el 6,3% de totes les espècies marines descrites de macròfits i metazous. El macròfits presenten el percentatge més elevat d'espècies compartides amb les estimacions mundials (els feòfits són el 17,2% i les angiospermes, el 11,7%). Pel que fa als metazous, les esponges de la Mediterrània mostren el percentatge més alt d'espècies compartides (12,4%), seguides dels poliquets (9,4%) i dels cnidaris (7,7%). Altres grups, com el equinoderms (2,2%), els peixos (4%) i els mol·luscs (4%), presenten els percentatges més baixos (Coll *et al.*, 2010). La mitjana d'espècies endèmiques és actualment del 20,2%. Les proporcions més elevades d'endemismes es troben en esponges (48%), ascídies (35%), equinoderms (23%), briozous (23%), espècies macrofitobentòniques (22%) i peixos (12%). En alguns grups, aquest

percentatge d'endemisme és avui menor que en el passat a causa de la recerca i troballa d'espècies mediterrànies en les aigües atlàntiques adjacents (Coll *et al.*, 2010). Dins la Mediterrània, el 67% de les espècies es troben a la conca occidental. Hi ha diverses característiques de la Mediterrània que suggereixen que els impactes del canvi climàtic hi seran ràpids i importants. D'entrada, la fondària mitjana és de l'ordre de 1.500 m, i la taxa de renovació de l'aigua fonda és molt ràpida (entre 15 i 50 anys, vegeu l'apartat 12.1.6 sobre l'acidificació dels oceans) en comparació amb la dels oceans. La penetració de calor i de CO₂, doncs, és molt més ràpida, i els efectes sobre els organismes es poden manifestar més aviat. Si tenim en compte que la Mediterrània té una proporció molt alta d'espècies endèmiques (20%) i una capacitat limitada de migració, ens adonem que l'impacte potencial del canvi climàtic a la Mediterrània sobre la diversitat global pot ser molt alt (Lejeune *et al.*, 2010).

Una altra de les característiques de la mar Mediterrània és l'oligotròfia, la llarga durada del període amb molt baixa disponibilitat de macronutrients (nitrat, fosfat, silicat) a les aigües superficials. Els estius càlids i secs i l'escassetat de les aportacions fluvials fan que la Mediterrània sigui una conca de concentració. L'evaporació, més elevada a la conca oriental, fa disminuir el nivell del mar i augmentar-ne la salinitat. Això crea un gradient de pressió en sentit d'oest a est que empeny l'aigua superficial de l'Atlàntic cap a la conca oriental pel sud de la conca occidental. Durant l'hivern, el refredament i l'evaporació intensa d'aquesta aigua atlàntica superficial en fan augmentar la densitat, el que provoca que s'enfonssi en el mar de Llevant fins a capes intermèdies (300-400 m) abans de tornar cap a l'Oest i sortir per l'estret de Gibraltar. El fet que, a Gibraltar, la Mediterrània s'alimenti de l'entrada d'aigua atlàntica superficial (pobra en nutrients) i perdi aigua mediterrània profunda (i, per tant, rica en nutrients remineralitzats), fa que, en conjunt, la nostra sigui una mar pobra, amb una productivitat limitada. En aquest marc d'oligotròfia, els fenòmens de mesoscala (fronts i divergències) de la conca occidental contribueixen a produir fertilitzacions regionals molt apreciables. D'aquesta forma, la Mediterrània mostra un

gradient creixent d'oligotròfia entre les conques occidental (menys pobra) i oriental (més pobra), paral·lel al gradient de productivitat, 3,3 vegades més baixa a la conca est (Krom *et al.*, 1991; Turley *et al.*, 1999). Aquestes diferències de productivitat originen diferències de producció pesquera i biomassa d'organismes bentònics. En aquest sentit, Catalunya es troba en una zona relativament privilegiada de la Mediterrània, a la vessant més nord-occidental de la conca oest.

La importància de la mar i els ecosistemes marins per a Catalunya ve donada, d'una banda, pel fet que una fracció molt important de la població catalana es concentra a la franja litoral i, d'una manera directa o indirecta, interactua estretament amb la mar. A més, dos sectors econòmics importants tant actualment com històricament, depenen de la mar: la pesca i el turisme. I, encara, la mar determina la suavitat climàtica de bona part del nostre país. Al mateix temps, la variabilitat climàtica de gran escala és un dels factors més determinants de la disponibilitat de recursos per als ecosistemes marins. A la Mediterrània, el règim interanual de temperatura, vent i precipitacions està afectat per l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO) i per l'oscil·lació de la Mediterrània (MOI; vegeu l'apartat 12.1.2), de difícil predictibilitat. A falta de sèries de dades prou llargues, l'observació d'acoblaments entre la dinàmica dels ecosistemes i la variabilitat climàtica a mitjà termini ofereix la millor pista per a la predicció de les respostes a l'escala més llarga de l'escalfament global.

Però el canvi climàtic no és ni de bon tros l'única causa de transformació dels ecosistemes marins del nostre litoral. Les pressions antròpiques són múltiples i molt intenses: explotació (en molts casos sobreexplotació) pesquera, destrucció d'hàbitats, canvis en els balanços d'aigua i contaminació (Ballesteros, 2006b). En aquest context, el canvi climàtic progressivament va guanyant importància, però de moment queda lluny de la magnitud que tenen els altres factors. En la valoració i gestió de la mitigació dels impactes sobre els ecosistemes marins sovint s'actua com si l'impacte fos limitat en el temps i el sistema se'n pogués recuperar amb rapidesa si el forçament s'arriba a aturar; moltes de les iniciatives orientades a assolir l'explotació sostenible

del medi marí parteixen d'aquesta premissa. Malauradament, cal remarcar l'èxit escàs de les eines utilitzades fins ara per gestionar l'exploració dels recursos del mar. El progressiu col·lapse de les pesqueries arreu del món, per exemple, posa en entredit el supòsit de reversibilitat de l'impacte humà a curt i mitjà termini (Pauly *et al.*, 1998). En el cas del canvi climàtic, el supòsit de reversibilitat s'ha qüestionat des del primer moment, pel caràcter global, la inèrcia i la no linealitat del fenomen.

Per poder distingir l'efecte del canvi climàtic dels altres tipus d'impactes és fonamental disposar de zones protegides 'de control' no afectades pels altres factors antròpics. Els estudis que han tractat de discernir efectes associats al canvi climàtic, com la pèrdua de biomassa de comunitats bentòniques o l'establiment d'espècies invasores a conseqüència de l'escalfament de l'aigua, han posat de manifest que l'impacte es veu modulats per la diversitat i el grau de degradació de les comunitats (Ruiz *et al.*, 2000). De fet, els efectes del canvi climàtic s'atenuarien si fóssim capaços de reduir l'impacte d'altres factors perturbadors.

A mode d'avançament de les properes seccions, podem esmentar algunes generalitats de la direcció més probable que estan prenent el canvi en els ecosistemes mediterranis, especialment els del nostre litoral (Ros, 2009): 1) La 'tropicalització' de la biota per afavoriment de les espècies autòctones més termòfiles i la importació d'espècies forànies; 2) la reducció de la biodiversitat en nivells tròfics superiors; 3) la desaparició de les espècies més fràgils i longeves, de biologia parsimoniosa, i la reducció de l'estructura tridimensional biogènica; 4) la pèrdua de capacitat de recuperació; 5) el domini dels controls des de baix (*bottom-up*) de les xarxes tròfiques amb relació als controls des de dalt (*top-down*); 5) la reducció de la producció exportada cap al fons sedimentaris o cap als nivells tròfics explotables per l'home. No és que hi hagi dades que evidencin que tots i cadascun d'aquests processos ja s'han iniciat al nostre litoral, però la consistència amb què s'han observat en altres regions del planeta ens permet afirmar que són altament probables.

Davant la impossibilitat material de repassar amb cert detall tots els possibles impactes del canvi climàtic sobre els ecosistemes marins, en

les properes seccions ens centrarem en alguns d'aquests impactes, aquells que hem considerat més representatius o de més ressò social. Per cada un d'ells, exposarem quines evidències hi ha de canvis potencialment deguts al canvi climàtic, hi buscarem les sinèrgies amb altres factors antròpics, i n'apuntarem les tendències futures més probables.

12.3. La comunitat del coral·ligen mediterrani

12.3.1. Introducció

La comunitat del coral·ligen és una estructura d'origen biogènic fruit de l'acumulació d'algues incrustants en condicions de baixa disponibilitat de llum. Les comunitats animals presents en el coral·ligen varien en funció de la llum, el corrent, la sedimentació i la temperatura. En les zones més eutròfiques com la Mediterrània nord-occidental, les poblacions de gorgònies dominen la comunitat conjuntament amb un ampli ventall d'altres organismes suspensívors tals com esponges, briozous o ascidis. El coral·ligen és una comunitat emblemàtica del paisatge mediterrani, altament apreciada pel turisme de busseig. La seva importància biològica rau en la gran diversitat d'espècies que conté (fins a 1666; Ballesteros, 2006a) i en la gran complexitat estructural que creen algunes de les principals espècies estructuradores (algues calcàries, gorgònies i esponges). Aquesta complexitat contribueix decisivament al manteniment de la diversitat biològica. No obstant això, es tracta d'una comunitat molt vulnerable. Aquesta vulnerabilitat és deguda a la longevitat i a la dinàmica parsimoniosa de la majoria d'espècies que la constitueixen, i especialment de les espècies estructuradores (Coma *et al.*, 1998; Garrabou *et al.*, 2002), característiques que condueixen a un creixement lent i un baix reclutament, i condicionen molt la capacitat de recuperació de la comunitat quan és sotmesa a perturbacions.

12.3.2. Proves de canvis

En els darrers anys, l'escalfament global està afectant greument els ecosistemes bentònics marins amb malalties epidèmiques i mortaldats en massa dels organismes (Harvell *et al.*, 1999).

El senyal d'alarma es va encendre en els ecosistemes d'esculls de corall durant els episodis severes de blanquejament de coralls dels anys 1997-98 (Harvell *et al.*, 2002). Recentment s'han acumulat evidències tant físiques com biològiques que la Mediterrània està patint els efectes de l'escalfament global. Durant l'estiu de 1999 es va produir un esdeveniment de mortalitat en massa d'invertebrats que va afectar més de cinc-cents quilòmetres de la costa mediterrània nord-occidental entre Itàlia i França, a més de la costa nord de Menorca (Perez *et al.*, 2000; Coma *et al.*, 2006). Un nou esdeveniment de mortaldat en massa de les característiques de l'ocorregut el 1999, però amb un abast geogràfic superior, va succeir a finals d'estiu del 2003, novament a la Mediterrània nord-occidental. En aquest cas l'àrea afectada va ser d'uns quants milers de quilòmetres de costa distribuïts des del golf de Nàpols fins a la costa catalana, incloent-hi Còrsega i Sardenya, el golf de Gènova, la costa de la Provença i les illes Balears (Garrahou *et al.*, 2009). Les poblacions d'invertebrats suspensívors sèssils de la comunitat del coral·ligen d'entre 0 i 35-45 m de profunditat van ser les més afectades en ambdós esdeveniments, sobretot les poblacions de gorgònies i esponges (taules 1 i 2). La majoria d'aquestes espècies són clonals (individus originats per reproducció asexual a partir d'un ancestre), la qual cosa els permet patir mortalitat parcial i sobreviure. Aquesta capacitat els ha permès atenuar l'efecte dels episodis de mortalitat massiva sobre poblacions. No obstant això, en molts indrets les pèrdues s'han aproximat al 50% de les poblacions (Linares *et al.*, 2005; Coma *et al.*, 2006).

Les causes de la mortalitat en massa d'invertebrats estan relacionades amb el canvi climàtic i efectes derivats. En aquest sentit, s'han plantejat algunes hipòtesis de mecanismes d'afectació: a) l'exposició dels organismes a temperatures per sobre del nivell de tolerància tèrmica de les espècies, b) l'exposició a temperatures per sota de les crítiques però que els produeixen estrès fisiològic, i c) l'increment de la virulència de microorganismes patògens (Romano *et al.*, 2000; Cerrano *et al.*, 2000; Torrents *et al.*, 2008; Bally i Garrahou, 2007; Coma *et al.*, 2009; Lejeune *et al.*, 2010). Les temperatures fisiològicament crítiques no van caracteritzar el marc ambiental dels

esdeveniments de mortalitat massiva; així i tot, no podem descartar-les totalment perquè podrien haver succeït localment. Pel que fa als microorganismes virulents, tot i que s'han trobat microorganismes patògens a les colònies durant els episodis de mortalitat (Bally i Garrahou, 2007), han estat identificats com a oportunistes (Cerrano *et al.*, 2000; Martin *et al.*, 2002). Quina explicació s'ha donat, doncs, als episodis de mortalitat massiva? Les condicions climàtiques presents a finals d'estiu durant els episodis comportaven temperatures 3-4 °C per sobre de la mitjana i un manteniment de l'estabilitat de la columna d'aigua que endarreriria la barreja vertical que acostuma a ocórrer a finals d'estiu i principis de tardor. Aquestes són condicions no crítiques per als organismes però que els produeixen estrès fisiològic. Recentment, mitjançant experiments de laboratori i observacions de camp, s'ha demostrat que les anomalies climàtiques d'estratificació extrema són la causa principal dels episodis de mortalitat de diversos grups d'invertebrats suspensívors del coral·ligen. El mecanisme desencadenant de la mort és un estrès fisiològic degut a limitacions energètiques. L'estiu es una època energèticament desfavorable per a aquests organismes a causa de les altes temperatures (que impliquen una elevada respiració) i a la baixa disponibilitat d'aliment (poc plàncton, i petit), que no els permet nodrir l'alta demanda respiratòria. Els organismes són capaços de suportar una durada «normal» de les condicions energèticament adverses en el període d'estiu, però no un perllongament anòmal d'aquestes condicions, particularment si aquesta extensió es produeix en combinació amb temperatures anormalment elevades. Els esdeveniments de mortalitat en massa coincideixen amb els anys de màxims extrems en la durada del període d'estratificació forta de la columna d'aigua (Coma *et al.*, 2009).

12.3.3. Sinergies

El canvi climàtic és una més de l'ampli ventall d'accions antròpiques que, actualment, afecten negativament la comunitat del coral·ligen. Destaquem-ne algunes:

a) La pesca d'arrossegament, que té efectes directes i indirectes: d'una banda, el pas de les traines sobre el coral·ligen porta a la mort de la

majoria part d'espècies estructurals; d'altra banda, l'augment de la terbolesa i de la sedimentació causat per les arts de pesca d'arrossegament afecta molt negativament les algues i els suspensívors de la comunitat en un àrea ben extensa.

b) Les espècies invasores, que competeixen amb les espècies nadiues, i causen el recobriment de les algues calcàries i l'augment de les taxes de sedimentació.

c) Les aigües residuals, que inhibeixen el creixement de les algues calcàries, augmenten les taxes de bioerosió, i eliminen certs grups taxo-

nòmics alhora que afavoreixen les espècies més tolerants (Ballesteros, 2006b; 2008).

Allà on els efectes del canvi climàtic coincideixin amb una o més d'aquestes altres accions antròpiques de caràcter més local, és d'esperar que els efectes sobre la comunitat siguin molt més importants que no pas els que tindrien lloc com a fruit de l'actuació de les diferents accions per separat.

12.3.4. Tendències previstes

Abans, a la Mediterrània, havien tingut lloc episodis de mortalitat en massa. Al setembre de

Any	Escala	Localitat	Grup	Espècie
1983	Local	la Ciotat (mar Lìgur)	Cnidaria	<i>Corallium rubrum</i> <i>Eunicella singularis</i>
1987	Local	llacuna Massala (nord-oest Sicília) Portofino (est de la mar Lìgur)	Porifera	<i>Spongia officinalis</i> <i>Anchinoe paupertas</i> <i>Ircinia variabilis</i>
1992	Local	illes Medes	Cnidaria	<i>Paramuricea clavata</i>
1993	Local	Sicília (sud d'Itàlia)	Cnidaria	<i>Paramuricea clavata</i>
1994	Local	Portofino Promontorio (mar Lìgur)	Cnidaria	<i>Paramuricea clavata</i>
1994-96	Local	Porto Cesareo (sud del mar Adriàtic)	Porifera Porifera	<i>Ircinia spinosula</i> <i>Ircinia</i> sp.
1997-99	Local	golf de La Spezia (mar Lìgur)	Cnidaria	<i>Cladocora caespitosa</i> <i>Balanophyllia europaea</i>
1999	Regional	costa de la Provença i mar Lìgur	Cnidaria Porifera Bryozoa Bivalvia Ascidiacea	7 espècies 12 espècies 4 espècies 2 espècies 3 espècies
	illes Balears	regió de la Provença Cnidaria	Cnidaria Eunicella singularis	<i>Corallium rubrum</i>
2002	Local	illes d'Ischia i Procida (mar Tirrena)	Cnidaria	<i>Paramuricea clavata</i> <i>Eunicella singularis</i>
2003	Regional	golf de Gènova, costa de la Provença, Còrsega-Sardenya, golf de Nàpols, illes Balears, costa catalana	Cnidaria Porifera Bryozoa Bivalvia	9 espècies 9 espècies 2 espècies 5 espècies
2005	Local	illes Columbretes	Mollusca <i>Barbatia barbata</i> <i>Arca noe</i>	<i>Spondylus gaeropus</i>
2005	Local	illes Phlaegrean (mar Tirrena)	Cnidaria	<i>Eunicella cavolinii</i> <i>Eunicella singularis</i> <i>Paramuricea clavata</i>
2007	Local	Cabo de Palos-illa de Cabrera	Cnidaria	<i>Eunicella singularis</i> <i>Paramuricea clavata</i>

Taula 1. Llistat dels esdeveniments de mortalitat en massa d'invertebrats a la Mediterrània nord-occidental. Trobareu les referències originals a Perez et al. (2000), Coma et al. (2009) i Garrabou et al. (2009).

Grup	Espècie	1999	2003
Esgones	<i>Spongia officinalis</i>	X	X
	<i>Ircinia dendroides</i>	X	X
	<i>Ircinia variabilis</i>	X	X
	<i>Ircinia oros</i>	X	X
	<i>Agelas oroides</i>		X
	<i>Crambe crambe</i>	X	X
	<i>Cacospongia spp.</i>	X	X
	<i>Hippospongia communis</i>	X	X
	<i>Petrosia ficiiformis</i>		X
	<i>Spongia agaricina</i>	X	
	<i>Clathrina clathrus</i>	X	
	<i>Aplysina cavernicola</i>	X	
	<i>Reniera fulva</i>	X	
Cnidaris	<i>Paramuricea clavata</i>	X	X
	<i>Eunicella cavolinii</i>	X	X
	<i>Eunicella sigularis</i>	X	X
	<i>Eunicella verrucosa</i>	X	X
	<i>Leptogorgia sarmentosa</i>		X
	<i>Corallium rubrum</i>	X	X
	<i>Cladocora caespitosa</i>	X	X
	<i>Balanophyllia italica</i>		X
	<i>Oculina patagonica</i>	X	
	<i>Parazoanthus axinellae</i>		X
Briozous	<i>Myriapora truncata</i>	X	X
	<i>Sertella spp.</i>		X
	<i>Adeonella calveti</i>	X	
	<i>Turbicellepora avicularis</i>	X	
	<i>Pentapora fascialis</i>	X	
Mol·luscs Bivalves	<i>Spondylus gaederopus</i>		X
	<i>Lima spp.</i>	X	X
	<i>Arca spp.</i>		X
	<i>Ostrea edulis</i>		X
	<i>Lithophaga lithophaga</i>		X
	<i>Neopycnodonte cochlear</i>	X	
Ascídies	<i>Microcosmus spp.</i>	X	
	<i>Halocynthia papillosa</i>	X	
	<i>Pyura dura</i>	X	

Taula 2. Espècies afectades pels esdeveniments de mortalitat en massa d'invertebrats a escala regional que var tenir lloc a la Mediterrània nord-occidental el 1999 i el 2003.
Font: Perez et al., 2000; Garrabou et al., 2009.

1983, un episodi de mortalitat massiva va afectar les poblacions de corall vermell fins als 20 m de fondària a la mar Lígur (Harmelin, 1984). D'aleshores ençà s'han observat, a la conca occidental, altres episodis de mortalitat que han afectat principalment cnidaris i esgones (taules 1 i 2). Una característica comuna dels episodis ocorreguts fins al 1999 és el caràcter local, amb afectacions en desenes de metres o quilòmetres. L'episodi de 1999 va ser el primer registrat de caràcter regional (centenars de quilòmetres). La pauta actual d'escalfament, i l'observació que hi ha una relació entre el màxim de temperatura de l'estiu i l'allargament del període d'estratificació (Coma *et al.*, 2009), fan preveure un augment de la probabilitat d'estius més llargs i calorosos a les aigües catalanes i, per tant, d'esdeveniments de mortalitat en massa semblants als que hem descrit. La hipòtesi d'una relació causal entre l'escalfament global i els episodis de mortalitat en massa, reforçada per la tendència observada d'increment de la freqüència i intensitat d'aquests episodis (taula 1), fa témer canvis molt profunds en la composició de la comunitat del coral·ligen mediterrani.

De fet, els efectes d'esdeveniments extrems d'escalfament i estratificació sobre la comunitat del coral·ligen destaquen entre les observacions més clares d'efectes biològics associats amb variacions climàtiques a la Mediterrània nord-occidental. En aquest sentit, el coral·ligen representa un bon indicador del progrés del canvi climàtic a les nostres aigües.

12.4. Peixos d'interès comercial

12.4.1. Introducció

Parlar de la importància dels peixos al mar sembla una obvietat. La ictiofauna d'una regió marina canalitza una part significativa de l'energia incorporada en la producció primària, estructura les comunitats biològiques amb el seu rol en múltiples nivells tròfics, contribueix a la biodiversitat i, en nodrir l'explotació pesquera, és la peça clau dels serveis que ofereixen els ecosistemes marins (Worm *et al.*, 2006). Aquesta última funció, totalment lligada a les altres, fa que el seguiment de l'evolució dels estocs de peixos en temps de canvi climàtic despert molt

d'interès i, per les seves implicacions socioeconòmiques, transcendeixi llargament l'àmbit científic.

Com hem comentat a la secció 2 d'aquest capítol, la Mediterrània occidental es caracteritza per una estacionalitat ben definida, amb hiverns relativament freds al nord, i llargs períodes càlids al sud, gairebé propis de regions subtropicals. Aquest gradient latitudinal ha marcat la distribució de les espècies i la seva explotació: les espècies més termòfiles, d'afinitat tropical i subtropical, es trobaven a les costes nordafricanes i del llevant meridional peninsular, mentre que la zona septentrional de la costa catalana i la mar Lígur es caracteritzaven per espècies pròpies d'aigües més fredes. La variabilitat climàtica més recent, en fase amb l'escalfament global, està canviant aquests patrons de distribució geogràfica que podríem anomenar tradicionals.

Val a dir, tanmateix, que en aquest tema, més que en cap altre, es fa difícil discernir els fenòmens de variabilitat que van associats a factors climàtics dels que van associats a l'impacte humà directe, en aquest cas d'explotació. Aquesta barreja de pressions o forçaments sobre les poblacions de peixos, que és comuna a tot el planeta (Pauly *et al.*, 1998), també és aplicable a la Mediterrània.

12.4.2. Proves de canvis

Hi ha observacions que algunes espècies termòfiles han ampliat la seva distribució cap al nord (Gambaiani *et al.*, 2009). El fadri (*Thalassoma pavo*), un peix de roca, és comú trobar-lo avui en costes del Principat, quan fa dècades només es trobava en abundància en àrees més meridionals. El mateix podem dir del raor (*Xyrichtys novacula*) i l'anfós (*Epinephelus marginatus*) (Francour *et al.*, 1994; Ros, 2009). La tonyina (*Thunnus thynnus*) i la serviola (*Seriola dumerili*) perllonguen l'estada en aigües de la Mediterrània nord i central abans de migrar cap als territoris d'hivern, més meridionals (Bombace, 2001). El tallahams (*Pomatomus saltatrix*), apreciat per a la pesca esportiva, és cada vegada més abundant a les costes més septentrionals fins al golf de Lleó (Francour *et al.*, 1994). Per contra, l'amploia (*Sprattus sprattus*), tan comuna al litoral català als anys 60, avui pràcticament ha desaparegut (FAO, 2006).

Però el cas que s'ha estudiat millor és, sens dubte, el de l'alatxa (*Sardinella aurita*). És un peix pelàgic petit, típic de les aigües càlides de la Mediterrània oriental i meridional, avui molt habitual a les nostres latituds. Des dels anys 50, s'observa una correlació positiva entre les anomalies tèrmiques positives i les captures d'alatxa a la Mediterrània occidental (Sabatés *et al.*, 2006). A més, el límit septentrional de la distribució d'aquesta espècie ha passat de la latitud de les illes Balears a la de l'Escala a raó de 4 km l'any de mitjana (Sabatés *et al.*, 2006).

En la majoria de casos, les causes d'aquests canvis de distribució no estan totalment esclariades, tot i que els forçaments climàtics apareixen com una de les més probables. D'una banda, hi ha l'efecte directe de la temperatura de l'aigua i el fotoperíode sobre el cicle reproductor, però, amb l'excepció esmentada de l'alatxa, no hi ha proves fiables del litoral català que abracin períodes de temps prou llargs per arribar a resultats concloents. D'altra banda, hi ha els canvis en l'abundància i en la composició de l'aliment. Aquí també hi ha una alarmança manca de dades a les nostres costes. A la mar Lígur i a les illes Balears, Molinero *et al.* (2005; 2008b) i Fernández de Puelles i Molinero (2008) han mostrat canvis en la composició i la fenologia (especialment les dates d'aparició) del zooplàncton associats a variabilitat climàtica. Segons aquests estudis, l'abundància de zooplàncton és menor després d'anomalies positives de la temperatura durant períodes d'índex NAO elevat (vegeu la secció 12.6.2). Això afectaria l'abundància de peixos carnívors en aquests períodes. Un cas paradigmàtic en aquest sentit és el del bacallà a la mar del Nord, l'abundància del qual ha disminuït a la zona sud i s'ha traslladat cap al nord tot seguint els canvis de distribució del seu aliment, especialment del copèpode *Calanus finmarchicus* (Beaugrand *et al.* 2003).

Un altre factor amb vinculacions climàtiques que afecta les espècies d'interès comercial són les descàrregues dels rius. Un estudi de Lloret *et al.* (2001) mostra que les captures a la Mediterrània nord-occidental de 13 espècies comercials, entre les quals hi ha la sardina, l'anxova i la sípia, estan relacionades amb les descàrregues dels rius (i, per tant, la pluviositat) i la força del vent de la

temporada de posta d'ous anterior. L'explicació cal buscar-la en la fertilització de la productivitat planctònica que provoquen la mescla vertical causada pel vent i les aportacions fluvials de nutrients, que alimentarien les larves.

12.4.3. Sinergies

Com dèiem a la introducció d'aquesta secció, és clar que, si parlem d'espècies d'interès comercial, la seva distribució i la seva abundància no vénen determinades només pels factors més directament derivats del clima (factores que podríem qualificar de *bottom-up*), sinó també, i molt profundament, per la mateixa activitat extractiva. De fet, moltes de les espècies més tradicionals a les aigües del Principat es troben avui en una situació de forta explotació, lluny de la que fóra sostenible (Lleonart i Maynou, 2003). Aquesta explotació, en alguns casos sobreexplotació, no només es dona en el total de captures sinó també en el respecte a les mides de captura. Es fa difícil destriar, doncs, si els canvis observats en la distribució latitudinal, i especialment en l'arribada i establiment abundant d'espècies més meridionals, és deguda a les variacions climàtiques (escalfament progressiu) o a la sobrepesca dels seus competidors locals.

Altres sinergies les trobarem en la gestió de l'aigua a terra, que afecta les descàrregues dels rius (Lloret *et al.*, 2001), i en la desaparició, per ús recreatiu o degradació, d'hàbitats que són llocs de posta o refugi de juvenils (García-Rubies i Macpherson, 1995).

12.4.4. Tendències previstes

L'escalfament progressiu predit per a la Mediterrània, el fet que cap model climàtic no prediu una disminució de la recent dominància de la fase positiva de la NAO, més aviat al contrari (Meehl *et al.*, 2007), i la situació de forta explotació que viuen algunes espècies tradicionals, són factors que, tots, apunten cap a una limitació de l'abundància de peixos carnívors. El progressiu establiment d'espècies termòfiles al litoral català també sembla un fet irreversible; el que caldrà estudiar és si aquestes espècies contribueixen a reduir les captures de les tradicionals (sobretot l'anxova i la sardina) per competència per l'aliment.

12.5. Meduses al litoral

12.5.1. Introducció

Les meduses són organismes planctònics gelatinosos heteròtrofs, presents en pràcticament tots els mars del planeta. Quan les condicions els són favorables, formen eixams d'elevades densitats; en aquests casos, i atès que són capturadors molt eficients de partícules, les meduses canalitzen bona part de l'energia absorbida per l'ecosistema pelàgic en la producció primària planctònica. Malgrat l'interès obvi que tenen des del punt de vista ecològic, evolutiu i de contribució a la biodiversitat, a ningú no se li escapa que les meduses s'han popularitzat sobretot pels problemes que causen en algunes activitats econòmiques i en la gestió dels recursos naturals. La presència massiva de meduses en les xarxes de pesca i en les turbines de centrals energètiques, i l'abundància a les platges d'interès per a la indústria turística, per citar exemples significatius, els han penjat l'etiqueta de 'problema ambiental' antipàtic de resoldre. Hi ha proves, a més, que el problema es fa més gran amb l'escalfament global, la contaminació i la sobrepesca (Purcell *et al.*, 2007).

Al litoral català, les observacions d'eixams importants de meduses a les platges, i el nombre creixent de banyistes picats per aquests organismes, han creat un cert senyal d'alarma, del qual s'han fet ressò els mitjans de comunicació, que ha dut les administracions a llançar campanyes de salut pública especialitzades i establir programes de seguiment ambiental (Gili *et al.*, 2009). Malauradament, les observacions sistemàtiques i documentades són escasses i molt recents i es fa difícil, doncs, abordar la relació de les proliferacions de meduses de les nostres aigües amb el canvi climàtic, com s'ha fet en altres llocs (Purcell *et al.*, 2007). Això no obstant, l'anàlisi de les dades existents, juntament amb els estudis fets en regions veïnes o climàticament semblants a la nostra, i amb el coneixement creixent dels cicles de vida d'aquests organismes, permeten esbossar les causes de la presència abundant de meduses al litoral català i apuntar les tendències de futur més probables.

12.5.2. Proves de canvis

L'escassetat de dades de què parlàvem fa que, per a tenir una perspectiva històrica de variabilitat a

la Mediterrània nord-occidental, calgui recórrer als registres del país veí. L'estació zoològica de Villefranche-sur-mer ha anat anotant la presència de la medusa *Pelagia noctiluca* a les costes de la mar Lígur des de finals del segle XIX. Tot combinant aquestes dades amb observacions documentades en altres institucions, hom ha pogut reconstruir una sèrie temporal de 200 anys (1785-1985) de la presència d'aquesta espècie (Goy *et al.*, 1989). L'anàlisi més fina del període 1875-1985 mostrava una certa ciclicitat en l'alternança d'anys amb *Pelagia* i anys sense *Pelagia* (figura 9). De fet, el periodograma de contingència d'aquesta sèrie indicava que cada dotze anys, aproximadament, hi havia un període de dos a cinc anys seguits de presència de meduses. La comparació amb dades climàtiques va mostrar que els anys de meduses coincidien amb anys de poques pluges i amb temperatures i pressions atmosfèriques elevades de maig a agost, en l'època de reproducció de la *Pelagia* (Goy *et al.*, 1989). En les últimes dues dècades, sembla que aquesta tendència d'alternança amb una periodicitat marcada s'ha anat trencant, i hi ha intrusions de meduses més sovintejades. A més, hi ha observacions semblants en llocs molt allunyats del planeta, cosa que fa pensar que és un fenomen d'abast global (Gili i Pagès, 2005; Purcell *et al.*, 2007).

A les costes catalanes, l'Agència Catalana de l'Aigua va iniciar el seguiment sistemàtic de les proliferacions de meduses l'any 2000, i no ha

estat fins el 2007 que, mitjançant un conveni amb l'Institut de Ciències del Mar de CSIC, aquest seguiment ha inclòs determinacions acurades d'abundàncies per espècies i mida d'organismes. Durant aquest període de 10 anys, i especialment en els últims 5 anys, s'ha observat un increment dels eixams prop de la costa i un increment de la durada de les proliferacions. A més, s'ha constatat que hi ha més diversitat d'espècies que fan eixams importants (Gili *et al.*, 2009). Quines causes hi ha darrere d'aquest increment? L'aparició de meduses a les nostres costes i platges depèn essencialment de dos factors: *a)* les condicions per al creixement i la reproducció en zones allunyades de la costa, que és d'on provenen les espècies més abundants que arriben a la platja; *b)* el transport dels eixams des de mar oberta i l'acumulació prop de la costa.

Pel que fa a les condicions per al creixement i la reproducció, els organismes gelatinosos carnívors són particularment sensibles a la temperatura i les oscil·lacions climàtiques (Molinero *et al.*, 2008a). L'augment de la temperatura afecta positivament tant el creixement com l'èxit reproductor. Aquesta ja s'ha proposat com una causa directa de l'augment dels eixams de meduses en altres mars (Arai, 1997; Brodeur *et al.*, 1999), i sembla ser també la raó que explica l'aparició d'espècies termòfiles, pròpies d'aigües subtropicals, en aigües temperades. Un exemple

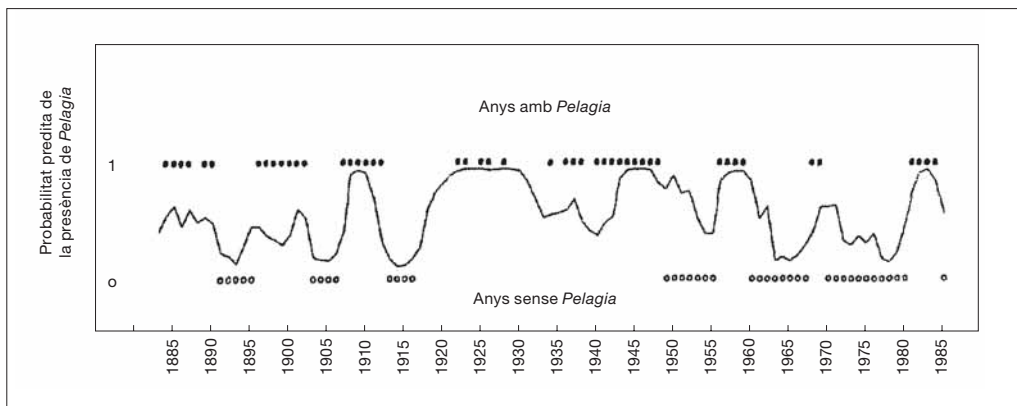


Figura 9. Anys amb (cercles negres) i sense (cercles blancs) observacions de *Pelagia noctiluca* a Villefranche-sur-mer, entre 1885 i 1986. La línia mostra la probabilitat de presència de la medusa predita amb un model que té en compte principalment la pluviometria, la temperatura i la pressió atmosfèrica.

Font: adaptada de Goy *et al.*, 1989.

d'aquest darrer fenomen és l'observació, per primer cop a les costes catalanes el 2009, del ctenòfor *Mnemiopsis* (Gili *et al.*, 2009).

Com hem comentat, els efectes fisiològics de la temperatura per si sols no explicarien l'increment d'eixams de meduses a les platges i costes catalanes durant els mesos d'estiu. Si bé és cert que, pel cicle reproductiu, les proliferacions de la majoria d'aquests animals assoleixen les abundàncies màximes d'individus entre inici de primavera i final d'estiu, aquestes pics d'abundància se situen a unes 20-40 milles de la costa, al límit de la plataforma continental, en una zona on la hidrografia afavoreix una producció planctònica relativament més alta que la de les aigües veïnes més estratificades i pobres en nutrients. Podem dir, doncs, que les meduses són animals d'aigües més obertes, no pas costaneres. De fet, en aigües profundes de la mar Lligur hom ha observat un augment del plàncton gelatinós a partir dels anys 80, sense que els copèpodes i els quetògnats hagin augmentat proporcionalment (Molinero *et al.*, 2008b). Perquè apareguin eixams a les platges cal, doncs, que hi hagi un transport des de mar obert. De dia, les meduses se situen en capes més fondes de la columna d'aigua, on troben més menjar i eviten els predadors visuals; de nit, pugen a la superfície. Les brises de mar del capvespre empenyen les meduses cap a les costes i platges, sobretot a l'estiu, quan el règim de marinada és molt més acusat. Coincideix, doncs, l'època de màxim d'abundància amb la de màxima intensitat de les brises (Gili *et al.*, 2009).

Hi ha encara un altre fenomen de caràcter climàtic que afavoreix els eixams costaners de meduses: a la primavera i l'estiu, les sortides d'aigua dolça de rius i aquífers abaixen la salinitat i la temperatura, i per tant la densitat, de l'aigua costanera, de manera que s'estableix una discontinuïtat de densitat que dificulta les intrusions d'aigua superficial de mar obert cap a la costa, la qual cosa dificulta l'arribada de meduses. L'escalfament progressiu del clima mediterrani comporta un escalfament primaveral i estiuenc de les aigües someres de la costa, i la disminució de la pluviositat fa que les sortides d'aigua dolça siguin cada vegada més minses. Això provoca una homogeneïtzació primerenca

de l'aigua costanera amb la de mar obert, la qual cosa facilita l'acció de les brises i l'arribada dels eixams.

12.5.3. Sinergies

El creixement i la reproducció de les meduses, i la formació d'eixams, depèn d'un conjunt de factors a més dels estrictament climàtics:

a) Les meduses, i en general els gelatinosos carnívors, ocupen el nivell tròfic de molts peixos, és a dir, s'alimenten de les mateixes preses. La sobrepesca dels peixos d'interès comercial facilita, doncs, l'alimentació de les meduses.

b) L'aliment de les meduses és el plàncton, que bàsicament depèn de la disponibilitat de llum i nutrients (sals minerals i matèria orgànica). Aigües eutrofitzades per abocaments antròpics de nutrients i contaminants, sobretot en badies molt tancades i ports, poden afavorir la proliferació de plàncton i meduses.

c) Els predadors naturals de les meduses són les tortugues, les aus i els peixos carnívors grossos. La sobrepesca, les tècniques pesqueres de captura indiscriminada, els plàstics flotants i l'ocupació de llocs de posta d'ous fan que l'abundància d'aquests animals, juntament amb el control que exerceixen sobre les poblacions de meduses, vagin clarament a la baixa.

A més, l'augment del consum d'aigua a terra debilita les sortides d'aigua dolça i reforça els efectes de la disminució de la pluviositat sobre la hidrografia de les aigües costaneres que hem comentat anteriorment.

12.5.4. Tendències previstes

Un estudi de Molinero *et al.* (2008a) mostra que els períodes de fase positiva de l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO) afavoreixen les proliferacions de meduses a la Mediterrània nord-occidental. Aquests períodes comporten pressions atmosfèriques i temperatures més altes, i disminucions de les precipitacions (i, per tant, de les descàrregues dels rius) i de la força del vent (Lloret *et al.*, 2001). Tot plegat afavoreix un enfortiment de l'escalfament i l'estratificació superficials a mar obert, el desenvolupament dels gelatinosos carnívors, i el transport cap a la costa (figura 10). Cap model climàtic no prediu una disminució de la recent dominància de la fase positiva de la

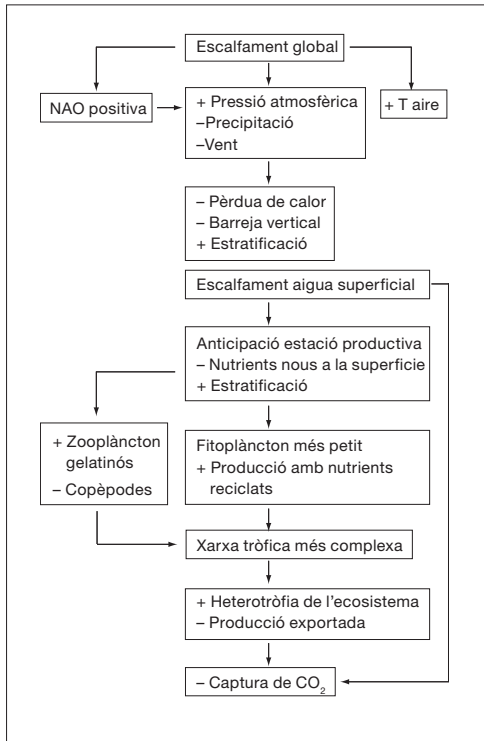


Figura 10. Mecanismes pel quals la variabilitat climàtica, i també l'escalfament global, poden afectar els ecosistemes pelàgics. El diagrama il·lustra gràficament i sintètica l'explicació detallada de les seccions 12.6.2 i 12.6.4. NAO: oscil·lació de l'Atlàntic Nord.

NAO, més aviat al contrari (Meehl *et al.*, 2007). Aquesta tendència climàtica, juntament amb la perspectiva que les sinèrgies de què parlàvem tampoc no sembla que hagin de reduir-se, i apunten a un increment progressiu de la presència d'eixams de meduses a les nostres platges en els propers anys.

12.6. Productors primaris i heteròtrofs del plàncton

12.6.1. Introducció

El plàncton de mides de fins a 0,2 mil·límetres conté la majoria de la biomassa i la diversitat, realitza pràcticament tota la producció primària, i és la base de la xarxa tròfica de l'ecosistema pelàgic. A més, vehicula els cicles dels elements principals i és responsable de bona part dels intercanvis de matèria entre el mar i l'atmosfera.

No podem entendre els efectes del canvi climàtic sobre l'ecosistema pelàgic sense entendre els efectes que té sobre els organismes del plàncton a nivell individual i col·lectiu. A diferència dels organismes de més biomassa col·lectiva a terra, de vida relativament llarga i molt lligats a la implantació sobre el terreny, els organismes del plàncton tenen una dinàmica més efimera i implantada en un ambient mòbil i canviant. Això és especialment rellevant per als productors primaris; les algues microscòpiques (fitoplàncton) depenen totalment de la hidrografia, principalment de l'estabilitat de la columna d'aigua i de com fluctua al llarg del temps. Aquesta determina no només la producció i la biomassa potencials, sinó també l'estructura de mides, la composició taxonòmica, la dinàmica i les funcions biogeoquímiques de la comunitat de fitoplàncton. A partir d'aquí, s'estructuren les xarxes tròfiques a través dels bacteris descomponedors de la matèria orgànica, els protistes bacterívors, herbívors i carnívors, i els organismes pluricel·lulars capturadors o filtradors.

Els impactes del clima sobre el plàncton poden ser directes, per mitjà dels efectes de la temperatura i la radiació solar sobre la fisiologia i els substrats de creixement, o indirectes, a través de les entrades d'energia calòrica i cinètica i de les entrades d'aigua dolça, que acaben determinant la disponibilitat d'elements essencials, llum i poder reductor. En tot cas, predir l'evolució de la salut dels ecosistemes marins mediterranis en resposta a l'escalfament global i altres forçaments antròpics passa inevitablement per entendre i predir les adaptacions de la comunitat planctònica a l'ambient canviant.

12.6.2. Proves de canvis

12.6.2.1. Productors primaris planctònics (fitoplàncton)

En regions semitancades com l'Adriàtic, la progressiva eutrofització, juntament amb l'allargament de l'estació d'estratificació, ha portat increments de la producció primària i la biomassa del fitoplàncton (Solic *et al.*, 1997). Més a prop nostre, en una estació d'estudi a mar obert de la mar Lígur, durant la dècada dels 1990 es va observar també un increment de la biomassa de

fitoplàncton, expressada com a concentració de clorofil·la a integrada en els 250 m superficials de la columna d'aigua. L'explicació que hom ha donat a aquest augment és l'allargament del període d'estabilització i estratificació de la columna d'aigua, és a dir, del període productiu (Marty *et al.*, 2002). En una zona propera a l'anterior però menys productiva per causa de la influència d'aigües atlàntiques, la badia de Calvi (Còrsega), la concentració de clorofil·la a a la superfície ha disminuït paral·lelament a l'augment de temperatura entre els anys setanta i els noranta (Goffart *et al.*, 2002). Les causes més probables són la disminució de vents i pluges, que han reduït l'entrada de nutrients per a la proliferació hivernoprimeral de fitoplàncton: la disminució del vent comporta una menor injecció a la superfície d'aigües profundes riques en nutrients, i la disminució de la pluja comporta una menor descàrrega de nutrients des de terra.

I a les costes catalanes? Entre els anys setanta i els noranta observem una disminució de la transparència de l'aigua al litoral català, probablement deguda a l'increment del fitoplàncton (Duarte *et al.*, 1999). Un estudi en marxa de seguiment del fitoplàncton en unes trenta-cinc estacions repartides per tot el litoral, des de l'Ebre fins al cap de Creus, mostra que, entre 1996 i 2009, la concentració de clorofil·la a en aigües superficials a 0,5-5 km de la costa sembla que ha augmentat lleugerament però significativa a raó d'uns $0,07 \text{ mg/m}^3$ per any. Les raons d'aquest increment no són clares; hom pensaria que l'augment de les descàrregues de nutrients des de la costa, lligades a l'augment de població i a l'activitat litoral, en són la causa principal, però el cert és que no s'observa cap increment dels nivells de clorofil·la, ni tampoc dels de nitrat o fosfat (que fins i tot baixa lleugerament) en les aigües més costaneres (1 m de fondària. E. Flo, comunicació personal). Hi ha, doncs, la possibilitat que obeeixi a causes de tipus climàtic.

A banda de les tendències observades en la biomassa i l'activitat totals, és important considerar també si hi ha canvis en la fenologia (cicles i temporalitat) i en l'estructura de les comunitats de fitoplàncton. A la badia de Calvi, la proliferació hivernoprimeral s'ha avançat del mes de març al gener-febrer, d'acord amb l'avançament de l'estratificació per augment de la temperatura

i els dies de sol, i la disminució de la velocitat del vent (Goffart *et al.*, 2002). A la mar Lligur, l'increment de biomassa que hem comentat abans ha anat associat amb canvis importants en l'estructura: disminució de l'abundància de les diatomees i augment de la contribució de nanoflagel·lats i picofitoplàncton, és a dir, d'organismes més petits (Marty *et al.*, 2002). Les causes s'han buscat en un increment descompensat de l'entrada de nutrients nous, deficitaris en silicat (Béthoux *et al.*, 2002). Les conseqüències són importants, perquè comunitats de plàncton basades en productors primaris més petits donen lloc a fluxos menors d'exportació de carboni tant als sediments (important per al paper del mar com a absorbidor de CO_2 atmosfèric) com als nivells tròfics superiors (important per a les pesques i per als invertebrats bentònics).

A les costes catalanes, les úniques dades que permeten fer comparacions d'aquesta mena a llarg termini són les obtingudes a la badia de Blanes als anys 1950 i 1960 per Margalef (1964), i les recents de Scharek *et al.* (2007). La comparació mostra que, per al fitoplàncton més gros (diatomees formadores de cadenes i dinoflagel·lades), les espècies dominants no han canviat: a la proliferació de finals d'hivern hom troba diatomees típiques d'aigües temperades de més al nord, i a finals de primavera i l'estiu hom troba dinoflagel·lades d'aigües tropicals. Cal destacar, tanmateix, que aquesta percepció de cap canvi en les espècies grosses dominants no ens permet inferir res de l'existència o no de canvis en el fitoplàncton més petit i en l'estructura de mides del conjunt de la comunitat.

12.6.2.2. Zooplàncton

En aquest cas, les dades històriques a les costes catalanes són encara més escasses, i únicament podem recórrer als estudis fets en zones veïnes. A les Balears, Fernández de Puelles i Molinero (2008) han observat certa correlació negativa entre les anomalies interanuals positives de la temperatura i l'abundància de zooplàncton. Els períodes d'elevat índex NAO coincideixen amb abundàncies de zooplàncton inferiors. A la mar Lligur, Molinero *et al.* (2005) observen canvis fenològics que alteren l'estructura de la comunitat de zooplàncton, amb possibles causes climàtiques.

Les fases d'índex NAO més o menys elevat afavoreixen, respectivament, els copèpodes *Centrophages* i *Temora*. El mateix Molinero i col·laboradors (2008) suggereix que la dominància de fases positives de la NAO des dels anys 1980 ha conduït a una progressiva substitució dels copèpodes per zooplàncton gelatinós, perquè els segons són millors filtradors (més eficients amb fitoplàncton més petit) i estan més ben adaptats a l'estabilitat de la columna d'aigua. Aquest efecte es veu reforçat pel fet que el zooplàncton gelatinós s'alimenta també de copèpodes.

12.6.2.3. Bacterioplàncton

Aquest és un altre dels components de la comunitat planctònica de què disposem de poquíssimes dades històriques. A la mar Adriàtica hom ha observat un increment de l'abundància de bacteris (Solic *et al.*, 1997), però es fa difícil extrapol·lar a les nostres costes les dades d'un ambient tan peculiar. A l'observatori microbià de la badia de Blanes, l'abundància bacteriana en aigües superficials en les últimes dues dècades (1992-2009) no presenta cap tendència clara, igual que la temperatura (Duarte *et al.*, 1999; Gasol *et al.*, 2009). Tampoc no podem dir res encara de la fenologia i de la composició de la comunitat bacteriana, perquè les tècniques moleculars que permeten esclarir la identitat filogenètica dels bacteris i lligar-la amb l'activitat en l'ecosistema tot just s'han desenvolupat en els últims 7 o 8 anys.

12.6.2.4. Metabolisme de la comunitat

Entenem per *metabolisme de la comunitat* el balanç entre producció i respiració de tot el plàncton conjuntament, que resulta en un balanç net de fixació de CO_2 i producció d'oxigen, o de producció de CO_2 i consum d'oxigen. Determinar el metabolisme de la comunitat demana fer mesures contínues d'oxigen, que es poden comparar amb dades climàtiques, o bé fer experiments d'incubació en ampolles per mesurar les taxes de producció primària i respiració, on podem manipular les condicions ambientals per simular canvis associats al clima. De mesures contínues, al litoral català no n'hi ha.

Els experiments de confinament i manipulació de la comunitat planctònica, sigui en ampolles

al laboratori o en grans sacs instal·lats al mar, permeten provar hipòtesis, tot i que l'extrapolació dels resultats a l'ambient natural d'on provenen les comunitats és més que problemàtica. Aquesta mena d'aproximacions experimentals han mostrat, per exemple, que els nivells tròfics superiors (petit zooplàncton) són els més vulnerables a un escalfament gradual de l'aigua durant setmanes (Petchey *et al.*, 1999). Vázquez-Domínguez i col·laboradors (2007) van experimentar amb aigua de la badia de Blanes agafada mensualment durant tot un any, i van observar que, en aplicar-li un increment de la temperatura de 2,5 °C, augmentava la respiració de carboni dels microorganismes heteròtrofs sense que augmentés la seva eficiència de creixement; és a dir, en aigües més càlides el plàncton consumia més oxigen i produïa més CO_2 . De fet, la temperatura és un factor determinant del metabolisme de la comunitat, perquè a nivell fisiològic accelera més la respiració que la fotosíntesi. De manera directa, doncs, l'escalfament global afavoreix l'heterotròfia (producció neta de CO_2) del plàncton. Com ja hem dit abans, el canvi climàtic a la Mediterrània, amb les seves conseqüències hidrogràfiques, sembla conduir a una disminució de l'exportació de carboni orgànic per sedimentació (Marty *et al.*, 2002) i per tant, a un major reciclatge prop de la superfície per respiració, amb la qual cosa accentua també de forma indirecta l'heterotròfia de l'ecosistema. Si pensem que, a més, la solubilitat del CO_2 disminueix amb la temperatura, veiem que tot apunta cap a una pèrdua de la capacitat del mar per a absorbir les quantitats creixents de CO_2 atmosfèric.

12.6.3. Sinergies

12.6.3.1. Eutrofització

Alguns autors han atribuït la pèrdua de transparència de les aigües del litoral català a l'eutrofització per descàrregues de nutrients des de la costa (Duarte *et al.*, 1999). Si bé l'increment de les concentracions d'alguns nutrients principals (nitrats i fosfats) en les últimes dècades és un procés ben documentat al conjunt de la Mediterrània occidental (Béthoux *et al.*, 2002) i en regions de característiques peculiars com la mar Adriàtica (Solic *et al.*, 1997), les dades existents

al litoral català no mostren tendències clares. Així i tot, sí que s'ha documentat un increment de les descàrregues de nitrogen associat a l'increment de la població permanent i temporal al litoral (Duarte *et al.*, 1999).

12.6.3.2. Acidificació

La progressiva acidificació de les aigües pot afectar el plàncton de diferents maneres. En primer lloc, canvis en el pH de l'aigua de mar condicionen l'especiació, l'estequiometria i la disponibilitat de nutrients essencials, i afecten d'aquesta manera la productivitat primària. Pel que fa al nitrogen, per exemple, en condicions més àcides esperarem una disminució de la concentració d'amoníac a expenses d'un augment de la concentració d'ió amoni. La fixació de nitrogen es pot veure afavorida (Hutchins *et al.*, 2007), mentre que la nitrificació (oxidació microbiològica d'amoní a nitrit i nitrat), més aviat es redueix en condicions més àcides (Huesemann *et al.*, 2002). Pel que fa al fòsfor, la concentració d'ió fosfat s'hauria de veure reduïda molt significativament en condicions més àcides. Per tot plegat, sembla que a la Mediterrània, una mar típicament oligotròfica limitada, sobretot, pel fòsfor, aquests canvis en l'especiació de nutrients deguts a l'acidificació podrien accentuar encara més el caràcter oligotròfic (CIESM, 2008).

Aigües més àcides també afectaran amb tota probabilitat els organismes planctònics calcificadors, com per exemple les algues cocolitoforals, importantíssims productors de carbonat càlcic a la Mediterrània. En relació amb la capacitat de la mar per a absorbir CO_2 atmosfèric, el fet que proliferin menys les algues cocolitoforals podria ser un resultat positiu a curt termini, ja que la mateixa calcificació significa un alliberament de CO_2 a l'aigua. No obstant això, les restes carbonatades de les algues cocolitoforals són importants en el transport de carboni cap al fons marí perquè, a més de constituir per elles mateixes un flux descendent de carbonat càlcic, proporcionen llast als agregats orgànics i n'afavoreixen la sedimentació i la incorporació als sediments dels fons marins, on el carboni queda retingut a escales de temps molt llargues. Al final, és difícil predir el sentit net d'aquests efectes contraposats de la calcificació (Barker *et al.*, 2003). El que

sembla clar és que la progressiva acidificació de l'aigua de mar provocarà canvis en la composició del fitoplàncton, afavorirà algunes espècies i en perjudicarà d'altres.

L'acidificació, sumada a altres paràmetres, també té potencial per a actuar sinèrgicament amb determinats efectes perjudicials. Per exemple, sembla ser que pot augmentar la susceptibilitat i la vulnerabilitat dels organismes als efectes nocius de la radiació ultraviolada (Beardall *et al.*, 2009) si no hi ha mecanismes d'adaptació o de reparació (Sobrino *et al.*, 2008).

12.6.4. Tendències previstes

La tendència a la Mediterrània occidental, com en tots els oceans de la planeta, és que augmenti la durada i la intensitat de l'estratificació amb l'escalfament global. El model històric que tenim per a preveure els canvis és la variabilitat climàtica associada amb l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO). Els períodes de fase positiva de la NAO, que comporten pressions atmosfèriques i temperatures més altes, disminució de les precipitacions i de la força del vent, afavoreixen l'escalfament i l'estratificació superficials a mar obert. L'escalfament comporta una disminució de la solubilitat del CO_2 , i l'enfortiment de l'estratificació comporta una menor injecció a la superfície d'aigües de fons riques en nutrients, juntament amb un avançament de l'època de desenvolupament de les proliferacions de fitoplàncton (figura 10). Cap model climàtic no prediu una disminució de la recent dominància de la fase positiva de la NAO, més aviat al contrari (Meehl *et al.*, 2007). Tot i que l'efecte sobre la producció primària anual no és del tot clar, sí que sembla que aquests canvis hidrogràfics porten associats canvis en l'estructura de les comunitats de plàncton i en el metabolisme de l'ecosistema, amb l'afavoriment d'organismes planctònics més petits, predadors gelatinosos, xarxes tròfiques més complexes, augment relatiu de la respiració respecte a la producció primària (augment de l'heterotròfia), i una disminució del carboni exportat cap als fons marins o cap als peixos (figura 10). Al capdavant, tot aquests canvis apunten cap a una pèrdua de capacitat del mar com a captador de CO_2 atmosfèric.

12.7. Necessitats de gestió, seguiment i recerca

Les proves acumulades fins aquest moment indiquen que l'escalfament global està afectant el clima i la hidrologia de la Mediterrània occidental, i que ho continuarà fent fins al punt de comportar alteracions substancials en la composició i dinàmica dels ecosistemes marins. És per això que, a banda del treball per mitigar el canvi climàtic i adaptar-s'hi, recomanem també:

1) Reduir l'efecte dels factors pertorbadors sobre els quals tenim més capacitat de control (sobrepesca, destrucció d'hàbitats, contaminació) que actuen sinèrgicament amb el canvi climàtic sobre els ecosistemes marins. L'estudi de variables demogràfiques i dinàmica poblacional d'espècies marines a partir de dades i de models numèrics han mostrat que els efectes del canvi climàtic s'accentuen per combinació amb els dels altres factors antròpics i, per tant, els primers s'atenuarien si es reduïssin els segons, la qual cosa permetria guanyar temps per a una actuació més globalitzada respecte al canvi climàtic.

2) Fer un seguiment de les principals variables físiques, químiques i biològiques indicadores del canvi climàtic i ambiental i de la seva velocitat. Aquest seguiment convindria fer-lo de manera sistemàtica arreu del litoral català però, molt especialment, en àrees protegides on, gràcies a la gestió/reducció dels altres factors d'impacte, podem discernir i valorar els efectes del canvi climàtic. Sèries temporals com la de l'estació de l'Estartit, i altres que ja estan funcionant, haurien de rebre suport institucional i econòmic, i caldria promoure la instauració de nous observatoris, tot aprofitant l'empenta del desenvolupament de sistemes automàtics de mesura en boies o ancoratges fixos. L'ambició a mitjà termini hauria de ser aconseguir, per al litoral català, una xarxa d'observatoris marins semblant a la xarxa d'observatoris meteorològics existent en tot el país. A més de permetre la detecció i la quantificació dels efectes del canvi climàtic, les dades recollides en les sèries temporals són de vital importància per a desenvolupar, posar a prova i validar els models climàtics i oceanogràfics amb què es fan les prediccions climàtiques.

3) Investigar els mecanismes i processos a través dels quals el canvi climàtic actua sobre

les poblacions marines. La nostra capacitat per a predir els efectes del canvi climàtic sobre els ecosistemes depèn del grau de comprensió dels mecanismes involucrats. Això demana donar suport a grups de recerca per al desenvolupament d'aproximacions imaginatives tant d'experimentació de laboratori com d'observació *in situ*.

Referències

- ALPERT, P. [et al.] (2002). «The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values». *Geophys. Res. Lett.* 29, DOI 10.1029/2001GL013554, 2002.
- ANTONOV, J.I.; LEVITUS, S.; BOYER, T.P. (2002). Steric sea level variations during 1957-1994: Importance of salinity. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 107, 8013, DOI 10.1029/2001JC000964.
- ARAI, M.N. (1997). *A Functional Biology of Scyphozoa*; Londres: Chapman & Hall, 316 p.
- BALLESTEROS, E. (2006a). «Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of the present knowledge». *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* núm. 44, p. 123-195.
- (2006b). «Els ecosistemes marins a Catalunya: valoració, impactes i actuacions per a la seva preservació». *L'Atzavara* 14, p. 99-110.
- (2008). *Plan de acción para la conservación del corallígeno y de las demás bioconcreciones calcáreas del Mediterráneo*. Regional Activity Centre for Specially Protected Areas (RAC/SPA) p. 27.
- BALLY, M.; GARRABOU, J. (2007). «Thermodependent bacterial pathogens and mass mortalities in temperate benthic communities: a new case of emerging disease linked to climate change». *Global Change Biol.* 13, p. 2078-2088.
- BARKER, S.; HIGGINS, J.A.; ELDERFIELD, H. (2003). «The future of the carbon cycle: review, calcification response, ballast and feedback on atmospheric CO₂». *Philos. Trans. Royal Soc. London Ser. A-Math. Phys. Eng. Sci.*, núm. 361, p. 1977-1998.
- BEARDALL, J.; SOBRINO, C.; STOJKOVIC, S. (2009). «Interactions between the impacts of ultraviolet radiation, elevated CO₂, and nutrient limitation on marine primary producers». *Photochem. Photobiol. Sci.* núm. 8, p. 1257-1265.
- BEAUGRAND, G.; BRANDER, K.M.; LINDLEY, J.A. [et al.] (2003). «Plankton effect on cod recruitment in the North Sea». *Nature* núm 426, p. 661-664.

- BENISTON, M. [et al.] (2007). «Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections». *Clim. Change* núm. 81, p. 71-95.
- BETHOUX, J.; EL BOUKHARY, M.; RUIZ-PINO, D. [et al.] (2005). «Nutrient, Oxygen and Carbon Ratios, CO₂ Sequestration and Anthropogenic Forcing in the Mediterranean Sea, The Mediterranean Sea». A: *The Handbook of Environmental Chemistry*, p. 67-86.
- BETHOUX, J.P.; MORIN, P.; RUIZ-PINO, D.P. (2002). «Temporal trends in nutrient ratios: chemical evidence of Mediterranean ecosystem changes driven by human activity». *Deep-Sea Res II* 49, p. 2007-2016.
- BINDOFF, N.L. [et al.] (2007). «Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level». A: SOLOMON, S. [et al.] (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- BOMBACE, G. (2001). «Influence of climatic changes on stocks, fish species and marine ecosystems in the Mediterranean Sea». *Arch. Oceanogr. Limnol.* núm. 22, p. 67-72.
- BRODEUR, R.D.; MILLS, C.E.; OVERLAND, J.E. [et al.] (1999). «Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change». *Fish. Oceanogr.* núm. 8, p. 296-306.
- BROECKER, W.S. (1979). «A revised estimate for the radiocarbon age of North Atlantic Deep Water». *J. Geophys. Res.* núm. 84, p. 3218-3226.
- (1980). «Geochemical tracers and ocean circulation». A: WARREN, B.A.; WUNSCH, C. (eds.), *Evolution of Physical Oceanography*. MIT Press, p. 434-460.
- CERRANO, C.; BAVESTRELLO, G.; BIANCHI, C.N. [et al.] (2000). «A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean), summer 1999». *Ecol. Lett.* 3, 284-293.
- CHUST, G.; BORJA, Á.; LIRIA, P. [et al.] (2009). «Human impacts overwhelm the effects of sea-level rise on Basque coastal habitats (N Spain) between 1954 and 2004». *Estuar. Coast. Shelf S.* 84, p. 453-462.
- CIESM (2008). «Impacts of acidification on biological, chemical and physical systems in the Mediterranean and Black Seas». A: BRIAND, F. (ed.) *CIESM Workshop Monographs*, 36. Mónaco.
- (2009). «Dynamics of Mediterranean deep waters». A: BRIAND, F. (ed.) *CIESM Workshop Monographs*, 38, Mónaco.
- COLL, M.; PIRODDI, C.; STEENBEEK, J. [et al.] (2010). *The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns and threats*. Plos One (en premsa).
- COMA, R.; RIBES, M.; GILI, J.M.; ZABALA, M. (1998). «An energetic approach to the study of life-history traits of two modular benthic invertebrates». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 162, p. 89-103.
- COMA, R.; LINARES, C.; RIBES, M. [et al.] (2006). «Consequences of a mass mortality in populations of *Eunicella singularis* (Cnidaria : Octocorallia) in Menorca (NW Mediterranean)». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* núm. 327, p. 51-60.
- COMA, R.; RIBES, M.; SERRANO, E. [et al.] (2009). «Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean». *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, núm. 106, p. 6176-6181.
- CERRANO, C.; BAVESTRELLO, G.; BIANCHI, C.N. [et al.] (2000). «A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean), summer 1999». *Ecology Letters*, núm. 3, p. 284-293.
- DONEY, S.C.; FABRY, V.J.; FEELY, R.A.; KLEYPAS, J.A. (2009). «Ocean Acidification: The other CO₂ problem». *Annual Review of Marine Science* 1, DOI 10.1146/annurev.marine.010908.163834.
- DUARTE, C.M.; AGUSTÍ, S.; KENNEDY, H.; VAQUÉ, D. (1999). «The Mediterranean climate as a template for Mediterranean marine ecosystems: the example of the northeast Spanish littoral». *Prog. Oceanogr.* núm. 44, p. 245-270.
- FABRY, V.J.; SEIBEL, B.A.; FEELY, R.A.; ORR, J.C. (2008). «Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes». *ICES J. Mar. Sci.* 65, p. 414-432.
- FAO FISHSTAT, 2006. Fisheries Statistics Database. Capture production 1950-2003 <<http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp>>
- FERNÁNDEZ DE PUELLES, M.L.; MOLINERO, J.C. (2008). «Decadal changes in hydrographic and ecological time-series in the Balearic Sea (western Mediterranean), identifying links between climate and zooplankton». *ICES J. Mar. Sci.* 65, p. 311-317.
- FONT, J. (1990). «A comparison of seasonal winds with currents on the continental slope of the Catalan Sea (Northwestern Mediterranean)». *J. Geophys. Res.* 95, p. 1537-1545.

- FRANCOUR, P.; BOUDOURESQUE, C.F.; HARMELIN, J.G. [et al.] (1994). «Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators». *Mar. Poll. Bull.* 28, p. 523-526.
- GAMBAIANI, D.D.; MAYOL, P.; ISAAC, S.J.; SIMMONDS, M.P. (2009). «Potential impacts of climate change and greenhouse gas emissions on Mediterranean marine ecosystems and cetaceans». *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 89, p. 179-201.
- GARRABOU, J.; BALLESTEROS, E.; ZABALA, M. (2002). «Structure and dynamics of north-western Mediterranean rocky benthic communities along a depth gradient». *Est. Coast. Shelf Sci.* 55, p. 493-508.
- GARRABOU, J.; COMA, R.; BENSOUSSAN, N. [et al.] (2009). «Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave». *Global Change Biology* 15, p. 1090-1103.
- GARCÍA RUBIES, A.; MACPHERSON, E. (195). «Substrate use and temporal pattern of recruitment in juvenile fishes on the Mediterranean littoral». *Mar. Biol.* 124, p. 35-42.
- GASOL, J.M.; EQUIP DE L'OBSERVATORI MICROBIÀ DE LA BADIA DE BLANES (2009). <<http://www.icm.csic.es/bio/projects/icmicrobis/bbmo/>>
- GIL, J.M.; ATIENZA, D.; FUENTES, V. (2009). *Treballs de recerca i seguiment de les proliferacions de meduses a les aigües litorals de Catalunya. Informe Tècnic*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua.
- GIL, J.M.; PAGES, F. (2005). «Les proliferacions de meduses». *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears* 48, p. 10-22.
- GOFFART, A.; HECQ, J.H.; LEGENDRE, L. (2002). «Changes in the development of the winter-spring phytoplankton bloom in the Bay of Calvi (NW Mediterranean) over the last two decades: a response to changing climate?». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 236, p. 45-60.
- GOMIS, D.; RUIZ, S.; SOTILLO, M.G. [et al.] (2008). «Low frequency Mediterranean sea level variability: The contribution of atmospheric pressure and wind». *Global Planet. Change* 63, p. 215-229.
- GOY, J.; MORAND, P.; ETIENNE, M. (1989). «Long-term fluctuations of *Pelagia noctiluca* (Cnidaria, Scyphomedusa) in the western Mediterranean Sea. Prediction by climatic variables». *Deep-Sea Res.* 36, p. 269-279.
- GUADAYOL, O.; PETERS, F.; MARRASE, C. [et al.] (2009). «Episodic meteorological and nutrient-load events as drivers of coastal planktonic ecosystem dynamics: a time-series analysis». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 381, p. 139-155.
- GUINOTTE, J.M.; FABRY, V.J. (2008). «Ocean acidification and its potential effects on marine ecosystems». *Ann. New York Acad. Sci.* 1134, p. 320-342.
- HARMELIN, J.G. (1984). «Biologie du corail rouge. Paramètres de populations, croissance et mortalité naturelle. Etat des connaissances en France». *FAO Fishery Reports* 306, p. 99-103.
- HARVELL, C.D.; KIM, K.; BURKHOLDER, J. [et al.] (1999). «Emerging marine diseases-climate links and anthropogenic factors». *Science* 285, p. 1505-1510.
- HARVELL, C.D.; MITCHELL, C.E.; WARD, J.R. [et al.] (2002). «Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota». *Science* 296, p. 2158-2162.
- HUESEMANN, M.H.; SKILLMAN, A.D.; CRECELIUS, E.A. (2002). «The inhibition of marine nitrification by ocean disposal of carbon dioxide». *Mar. Poll. Bull.* 44, p. 142-148.
- HUTCHINS, D.A.; FU, F.X.; ZHANG, Y. [et al.] (2007). «CO₂ control of *Trichodesmium* N₂ fixation, photosynthesis, growth rates, and elemental ratios: Implications for past, present, and future ocean biogeochemistry». *Limnol. Oceanogr.* 52, p. 1293-1304.
- KROM, M.D.; KRESS, N.; BRENNER, S.; GORDEN, L.I. (1991). «Phosphorous limitation of primary production in the eastern Mediterranean Sea». *Limnol. Oceanogr.* 36, p. 424-432.
- LAMBECK, K.; ANZIDEI, M.; ANTONIOLI, F. [et al.] (2004). «Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change». *Earth Planet. Sci. Lett.* 224, p. 563-575.
- LEARMONTH, J.A.; MACLEOD, C.D.; SANTOS, M.B. [et al.] (2006). «Potential effects of climate change on marine mammals». *Oceanogr. Mar. Biol. – Ann. Rev.* 44, p. 431-464.
- LEJEUSNE, C.; CHEVALDONNÉ, P.; PERGENT-MARTINI, C. [et al.] (2010). «Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea». *Trends in Ecology and Evolution* (en premsa).
- LINARES, C.; COMA, R.; DIAZ, D. [et al.] (2005). «Immediate and delayed effects of a mass mortality event on gorgonian population dynamics and benthic community structure in the NW Mediterranean Sea». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 305, p. 127-137.

- LIONELLO, P.; COGO, S.; GALATI, M.B.; SANNA, A. (2008). «The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations». *Global Planet. Change* 63, p. 152-162.
- LLEONART, J.; MAYNOU, F. (2003). «Fish stock assessments in the Mediterranean: state of the art». *Scientia Marina* 67 (Supplement), p. 37-49.
- LLORET, J.; LLEONART, J.; SOLÉ, I.; FROMENTIN, J.M. (2001). «Fluctuations of landings and environmental conditions in the north-western Mediterranean Sea». *Fish. Oceanogr.* 10, p. 33-50.
- LOPEZ-MORENO, J.I.; BENISTON, M. (2009). «Daily precipitation intensity projected for the 21st century: seasonal changes over the Pyrenees». *Theor. Appl. Climatol.* 95, p. 375-384.
- MARBÀ, N.; DUARTE, C.M. (2010). «Mediterranean warming triggers seagrass *Posidonia oceanica* shoot mortality». *Global Change Biology*, DOI 10.1111/j.1365-2486.2009.02130.x.
- MARGALEF, R. (1964). «Fitoplàncton de las costas de Blanes (provincia de Gerona, Mediterráneo Occidental), de julio de 1959 a junio de 1963». *Inv. Pesq.* XXVI, p. 131-164.
- MARTIN, Y.; BONNEFORT, J.L.; CHANCERELLE, L. (2002). «Gorgonians mass mortality during the 1999 late summer in french Mediterranean coastal waters: the bacterial hypothesis». *Water Res.* 36, p. 779-782.
- MARTY, J.C.; CHIAVERINI, J.; PIZAY, M.D.; AVRIL, B. (2002). «Seasonal and interannual dynamics of nutrients and phytoplankton pigments in the western Mediterranean Sea at the DYFAMED time-series station (1991–1999)». *Deep-Sea Res.* II 49, p. 1965-1985.
- MEEHL, G.A. [et al.] (2007). «Global Climate Projections». A: SOLOMON, S. [et al.] (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge-New York: Cambridge University Press, p. 747-845.
- MILLS, C.E. (2001). «Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions?» *Hydrobiol.* 451, p. 55-68.
- MOLINERO, J.C.; CASINI, M.; BUECHER, E. (2008a) «The influence of the Atlantic and regional climate variability on the long-term changes in gelatinous carnivore populations in the northwestern Mediterranean» *Limnol. Oceanogr.* 53, p. 6-1467.
- MOLINERO, J.C.; IBANEZ, F.; SOUISSI, S. [et al.] (2008b) «Climate control on the long-term anomalous changes of zooplankton communities in the North-western Mediterranean». *Glob. Change Biol.* 14, 11–26, DOI 10.1111/j.1365-2486.2007.01469.x.
- «Phenological changes in the northwestern Mediterranean copepods *Centrophages typicus* and *Temora stylifera* linked to climate forcing». *Oecologia* 145, p. 640-649.
- PASCUAL, J. (2005). «Reflexions sobre el canvi climàtic». *Penell*, 16-19.
- PAULY, D.; CHRISTENSEN, V.; DALSGAARD, J. [et al.] (1998). «Fishing down marine food webs». *Science* 279, p. 860-863.
- PELEJERO, C.; CALVO, E.; HOEGH-GULDBERG, O. (2010). «Paleo-perspectives on ocean acidification». *Trends in Ecology & Evolution*, DOI 10.1016/j.tree.2010.02.002.
- PÉREZ, T.; GARRABOU, J.; SARTORETTO, S. [et al.] (2000). «Mass mortality of marine invertebrates: an unprecedented event in the Northwestern Mediterranean». *Comptes Rendus de l'Académie des Science Paris, Science de la Vie*, 323, p. 853-865.
- PETCHEY, O.L.; MCPHEARSON, P.T.; CASEY, T.M.; MORIN, P.J. (1999). «Environmental warming alters food-web structure and ecosystem function». *Nature* 402, p. 69-72.
- PURCELL, J.E.; UYE, S.; LO, W.T. (2007). «Anthropogenic causes of jellyfish and their direct consequences for humans: a review». *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 350, p. 153-174.
- RAVEN, J.A.; CALDEIRA, K.; ELDERFIELD, H. [et al.] (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. Policy document 12/05. www.royalsoc.ac.uk, The Royal Society.
- RIXEN, M. [et al.] (2005). «The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change». *Geophys. Res. Lett.* 32, p. 12608.
- ROMANO, J.C.; BENSOUSSAN, N.; YOUNES, W.A.N.; ARLHAC, D. (2000). «Anomalies thermiques dans les eaux du golfe de Marseille durant l'été 1999. Une explication partielle de la mortalité d'invertébrés fixés». *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, Sciences de la Vie* 323, p. 415-427.
- ROS, J. 2009. «El mar i les costes catalanes ja noten l'efecte del canvi climàtic». A: *Aigua i Canvi Climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua, p. 259-277.

- RUIZ, G.M.; FOFONOFF, P.W.; CARLSON, J.T. [et al.] (2000). «Invasion of coastal marine communities in North America: apparent patterns, processes, and biases». *Annual Review of Ecology and Systematics* 31, p. 481-531.
- SABATÉS, A.; MARTÍN, P.; LLORET, J.; RAYA, V. (2006). «Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean». *Global Change Biol.* 12, p. 2209-2219.
- SABINE, C.L. [et al.] (2004). «The oceanic sink for anthropogenic CO₂». *Science* 305, p. 367-371.
- SALAT, J.; PASCUAL, J. (2002). *The oceanographic and meteorological station at l'Estartit (NW Mediterranean), Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea*; Mónaco.
- (2006). «Principales tendencias climatológicas en el Mediterráneo Noroccidental, a partir de más de 30 años de observaciones oceanográficas y meteorológicas en la costa catalana». A: CUADRAT J.M [et al.] (eds.) *Clima, sociedad y medio ambiente*; Zaragoza: Publicaciones de la Sociedad Española de Climatología.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; GONZÁLEZ-MARCO, D.; BOLAÑOS, R. (2008). «A review of wave climate and prediction along the Spanish Mediterranean coast». *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8, p. 1217-1228.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; MÓSSO, C.; SIERRA, J.P. (2010). «Impactes i vulnerabilitat del medi biofísic: La variabilitat climàtica i la costa catalana». A: LLEBOT, J. E. (coord) (2010) *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, CADS.
- SANCHEZ-LIZASO, J.L.; ROMERO, J.; RUIZ, J. [et al.] (2008). «Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants». *Desalination* 221, p. 602-607.
- SARMIENTO, J.L.; HUGHES, T.M.C.; STOUFFER, R.J.; MANNAGE, S. (1998). «Simulated response of the ocean carbon cycle to anthropogenic climate warming». *Nature* 393, p. 245-249.
- SCHAREK, R.; LATASA, M.; MASSANA, R.; BALAGUÉ, V. (2007). «Comparing microphytoplankton seasonality after 50 years at a coastal site in the northwest Mediterranean». Presentació al congrés de PICES *Effects of Climate Changes on marine ecosystems*, Xixon.
- SIVAN, D.; LAMBECK, K.; TOUEG, R. [et al.] (2004). «Ancient coastal wells of Caesarea Maritima, Israel, an indicator for relative sea level changes during the last 2000 years». *Earth Planet. Sci. Lett.* 222, p. 315-330.
- SOBRINO, C.; WARD, M.L.; NEALE, P.J. (2008). «Acclimation to elevated carbon dioxide and ultraviolet radiation in the diatom *Thalassiosira pseudonana*: Effects on growth, photosynthesis, and spectral sensitivity of photoinhibition». *Limnol. Oceanogr.* 53, p. 494-505.
- SOLIC, M.; KRSTULOVIC, N.; MARASOVIC, I. [et al.] (1997). «Analysis of time series of planktonic communities in the Adriatic Sea: distinguishing between natural and man-induced changes». *Oceanol. Acta* 20, p. 131-143.
- STEINACHER, M.; JOOS, F.; FRÖLICHER, T.L. [et al.] (2009). «Imminent ocean acidification in the Arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model». *Biogeosciences* 6, p. 515-533.
- SUPIC, N.; GRBEC, B.; VILIBIC, I.; IVANCIC, I. (2004). «Long-term changes in hydrographic conditions in northern Adriatic and its relationship to hydrological and atmospheric processes». *Annales Geophysicae* 22, p. 733-745.
- TORRENTS, O.; TAMBUTTE, E.; CAMINITI, N.; GARRABOU, J. (2008). «Upper thermal thresholds of shallow vs. deep populations of the precious Mediterranean red coral *Corallium rubrum* (L.): Assessing the potential effects of warming in the NW Mediterranean». *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 357, p. 7-19.
- TOURATIER, F.; GOYET, C. (2009). «Decadal evolution of anthropogenic CO₂ in the northwestern Mediterranean Sea from the mid-1990s to the mid-2000s». *Deep Sea Res.* 56, p. 1708-1716.
- TRENBERTH, K.E. [et al.] (2007). *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*. In: S. Solomon [et al.] (Editors), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Cambridge: Cambridge University Press.
- TSIMPLIS, M.N.; JOSEY, S.A. (2001). «Forcing of the Mediterranean Sea by atmospheric oscillations over the North Atlantic». *Geophys. Res. Lett.* 28, p. 803-806.
- TURLEY, C.M. (1999). «The changing Mediterranean Sea – a sensitive ecosystem?» *Progr. Oceanogr.* 44, p. 387-400.
- VARGAS-YÁÑEZ, M. [et al.] (2007). *Cambio climático en el Mediterráneo español*; Madrid: Instituto Español de Oceanografía, 171 p.

- VARGAS-YÁÑEZ, M.; JESÚS GARCÍA, M.; SALAT, J. [et al.] (2008). «Warming trends and decadal variability in the Western Mediterranean shelf». *Global Planet. Change* 63, p. 177-184.
- VARGAS-YÁÑEZ, M.; MOYA, F.; TEL, E.; [et al.] (2009). «Warming and salting in the western Mediterranean during the second half of the 20th century: inconsistencies, unknowns and the effect of data processing». *Scientia Marina* 73, p. 7-28.
- VÁZQUEZ-DOMÍNGUEZ, E.; VAQUÉ, D.; GASOL, J.M. (2007). «Ocean warming enhances respiration and carbon demand of coastal microbial plankton». *Global Change Biol.* 13, p. 1327-1334.
- VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, M.; TOURATIER, F.; LO MONACO, C. [et al.] (2009). «Anthropogenic carbon distributions in the Atlantic Ocean: data-based estimates from the Arctic to the Antarctic». *Biogeosciences* 6, p. 439-451.
- VISBECK, M.H.; HURRELL, J.W.; POLVANI, L.; CULLEN, H.M. (2001). «The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future». *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 98, p. 12876-12877.
- WORM, B.; BARBIER, E.B.; BEAUMONT, N. [et al.] (2006). «Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services». *Science* 314, 787-790.
- ZEEBE, R.E., ZACHOS, J.C., CALDEIRA, K. [et al.] (2008). «Carbon emissions and acidification». *Science* 321, p. 51-52.

3a part

Anàlisi sectorial:

gestió, mitigació i adaptació

13. El procés de les negociacions internacionals sobre el canvi climàtic

Miquel Muñoz Cabré

Centre Pardee, Universitat de Boston

Miquel Muñoz Cabré (París, 1975) és investigador a la Universitat de Boston. Va obtenir el títol de doctor per la Universitat Autònoma de Barcelona, i compta amb un Màster en Relacions Internacionals i Política Ambiental per la Universitat de Boston, un Màster en Economia Ecològica, i una Llicenciatura en Física. Ha treballat a l'Institut Internacional del Desenvolupament Sostenible, l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, l'Energy Research Centre of the Netherlands, el Worldwatch Institute, el C3ED i el CIEMAT. Ha publicat en diverses revistes científiques, els mitjans de comunicació generals i la blogosfera. Ha participat en nombroses negociacions internacionals, entre altres les principals reunions del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, i en el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC).

Resum	509
Introducció	511
13.1. Breu història del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic 1990-2005	511
13.1.1. Orígens	511
13.1.2. Negociació del Protocol de Kyoto	512
13.1.3. Operacionalització i entrada en vigor del Protocol de Kyoto	513
13.2. El procés negociador	513
13.2.1. Actors del Conveni marc sobre el canvi climàtic. Qui és qui?	513
13.2.1.1. Països	514
13.2.1.2. Organitzacions observadores	515
13.2.1.3. Mitjans de comunicació	518
13.2.1.4. Grups formals i coalicions negociadores	518
13.2.1.5. Personalitats	521
13.2.2. Estructura institucional del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic	521
13.2.2.1. Òrgans de govern	521
13.2.2.2. Òrgans subsidiaris	523
13.2.2.3. Secretaria	524
13.2.2.4. Altres òrgans	525
13.2.2.5. Altres reunions	526
13.2.3. Procediment. Modus operandi i regles del joc	527
13.2.3.1. Consens	527
13.2.3.2. Text de negociació i documentació	527
13.2.3.3. Sessions plenàries, grups de contacte i grups informals	528
13.2.3.4. Segment d'alt nivell	529
13.2.3.5. Esdeveniments paral·lels	529
13.2.4. Altres fòrums de negociació internacional en canvi climàtic	529
13.2.4.1. Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic	529
13.2.4.2. Altres òrgans de les Nacions Unides	531
13.2.4.3. Organitzacions fora de l'àmbit de les Nacions Unides	531

13.3. 2005-2010: Negociacions post-Kyoto	534
13.3.1. 2004 - 2007 de Buenos Aires a Bali: negociant com negociar	534
13.3.2. La cimera de Bali 2007	536
13.3.3. De Bali a Copenhaguen	536
13.3.3.1. Mitigació	537
13.3.3.2. Adaptació i finançament	538
13.3.3.3. Procés	539
13.3.4. La cimera de Copenhaguen 2009	539
13.3.5. Més enllà de Copenhaguen	540
13.3.5.1 Escenaris de negociació	541
13.4. Conclusions	542
13.4.1. Conclusions per a Catalunya	542
Referències	543

Resum

La negociació internacional del canvi climàtic va començar a finals dels anys 80 del segle passat amb la creació del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic i el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. En dues dècades, el canvi climàtic ha passat de ser considerat un problema mediamiental que preocupava a un grup reduït d'especialistes a ser percebut com un problema econòmic i estratègic global, que afecta gairebé tots els aspectes de la societat i atrau l'atenció dels governs al més alt nivell polític. En aquest capítol s'explica la història, les institucions i el procés de les negociacions internacionals del canvi climàtic.

Les negociacions internacionals sobre el canvi climàtic es realitzen majoritàriament en el context del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. Les negociacions es poden descriure en quatre etapes diferenciades: a) els inicis, fins a la signatura del Conveni marc, b) la negociació i signatura del Protocol de Kyoto, c) l'operacionalització del Protocol de Kyoto, i d) les negociacions per al període més enllà del 2012, conegudes com a negociacions post-Kyoto. Les negociacions post-Kyoto continuen obertes el 2010.

Les negociacions formals per establir un conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic van començar el 1990, i van durar dos anys. El Conveni es va adoptar a Nova York el 9 de maig de 1992, es va signar a la cimera de la Terra a Rio de Janeiro el mateix any i va entrar en vigor el 21 de març de 1994. El Conveni és el principal marc negociador a nivell internacional. Un cop adoptat el Conveni, es va establir un procés, l'AGBM, per arribar a un acord de reducció d'emissions. Aquest procés va durar tres anys i va culminar el 1997 amb la signatura del Protocol de Kyoto, que compromet els països desenvolupats a reduccions quantificades en les seves emissions de sis gasos amb efecte d'hivernacle en el període 2008-2012. Un cop signat el Protocol, les negociacions es van centrar a fer-lo operacional. Durant quatre anys els països van nego-

ciar normes específiques de funcionament en temes com el comerç d'emissions o els embornals. Aquest període va culminar el 2001 amb els acords de Marràqueix.

El Protocol de Kyoto es va dissenyar amb un innovador sistema de ratificació, segons el qual, per entrar en vigor, l'havien de ratificar 55 països membres, incloent-hi països desenvolupats que representaven com a mínim el 55 % de les emissions de diòxid de carboni mundials. Amb la renúncia dels EUA al Protocol de Kyoto el 2001, el Protocol no va entrar en vigor fins al 2005, quan el van ratificar la resta de països desenvolupats.

El mateix any van començar les negociacions post-Kyoto, per arribar a un acord global per combatre el canvi climàtic més enllà del 2012. Els primers dos anys de negociacions van resultar en el Full de Ruta de Bali, que establia un procés negociador per assolir un acord legalment vinculant a Copenhaguen, el 2009. Entre 2007 i 2009 es va produir el procés negociador més intens en la història del Conveni. La cimera de Copenhaguen, però, malgrat ser la reunió amb més participants i més caps d'estat de la història, va resultar inconclusiva, i les negociacions continuen (a principis de 2010) amb incertesa sobre els elements processals, o quan i com conclouran.

Institucions i procés

Institucionalment, el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic és un tractat multilateral ambiental que compta amb un protocol, el Protocol de Kyoto, dos òrgans subsidiaris permanents, l'Òrgan Subsidiari d'Assessorament Científic i Tecnològic (OSACT) i l'Òrgan Subsidiari d'Execució (OSE), una secretaria, un buró i dos òrgans subsidiaris temporals encarregats de les negociacions post-Kyoto, l'AWG-KP i l'AWG-LCA. El Conveni i els òrgans subsidiaris compten amb nombrosos òrgans de rang menor, que s'especialitzen en aspectes concrets com ara tecnologia, adaptació, finançament, mecanismes de flexibilitat, verificació i un llarg etcètera.

L'òrgan de govern suprem del Conveni és la Conferència de les Parts, que es reuneix amb periodicitat anual. Els òrgans subsidiaris permanents es reuneixen dues vegades a l'any. A més de les reunions regulars, es realitzen nombrosos tallers tècnics, trobades regionals i d'altres reunions.

El conveni no compta amb unes regles de procediment definitives, per la qual cosa totes les decisions s'han de prendre per consens, entenent consens com l'absència d'oposició formal per cap part. La regla del consens dóna poder de veto fàctic a les parts, i és considerada per molts com una de les causes de la lentitud i el bloqueig del procés negociador.

Les negociacions internacionals sobre el canvi climàtic compten amb nombrosos actors. Per una banda, hi ha els 193 països signataris, í, per l'altra, les organitzacions observadores, que comprenen els òrgans i agències de les Nacions Unides, 165 organitzacions intergovernamentals, 1.300 organitzacions no governamentals (ONG) i els mitjans de comunicació. Les ONG representen un ampli ventall de la societat civil i inclouen diferents tipus d'organitzacions, com ara ecologistes, indústria, governs locals, institucions de recerca i sindicats.

Els països s'agrupen en grups i coalicions negociadores, el més notable dels quals és el Grup dels 77 i la Xina, que representa els interessos dels països en vies de desenvolupament. Altres grups inclouen la Unió Europea, l'Aliança dels

Petits Estats Insulars, o el Grup per la Integritat Ambiental. També existeixen coalicions d'ONG, com la Xarxa d'Acció per el Clima.

El Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic és el principal fòrum negociador internacional per el canvi climàtic, però no l'únic. Un altre òrgan de les Nacions Unides que adreça el canvi climàtic és el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC). L'IPCC va ser creat el 1988 i la seva missió és avaluar i proporcionar una visió clara i equilibrada dels coneixements existents sobre el canvi climàtic, tant de caire científic, com tècnic i socioeconòmic. La feina i qualitat de l'IPCC i els nombrosos científics que el componen ha estat reconeguda en nombroses ocasions, la més notable de les quals és l'atorgament el 2007 del premi Nobel de la Pau per «els seus esforços per generar i disseminar coneixement sobre el canvi climàtic causat pels humans i per establir els fonaments per a les mesures necessàries per contrarestar aquest canvi».

A més de l'IPCC, hi ha 39 òrgans de les Nacions Unides que tenen programes, competències o realitzen tasques relacionades amb el canvi climàtic. Les seves activitats es troben més detallades en el Portal de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic a Internet. Fora de Nacions Unides, altres processos com el Grup dels 20 (G20) o el Fòrum de les Grans Economies liderats pels EUA proporcionen un fòrum negociador sobre el canvi climàtic.

Introducció

La negociació internacional del canvi climàtic va començar a mitjans dels anys 80 del segle passat amb la creació, el 1988, del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, les consultes del qual van desembocar, el 1992, en la signatura del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. Durant aquestes dues dècades, el canvi climàtic ha passat de ser considerat un problema mediambiental que preocupava un grup reduït de científics i ecologistes a ser percebut com un problema econòmic i estratègic global, que afecta gairebé tots els aspectes de la societat i atrau l'atenció dels governs al més alt nivell polític. En vint anys, les negociacions internacionals han tingut molts alts i baixos. El seu punt àlgid va ser, sens dubte, la signatura del Protocol de Kyoto, el 1997. Aquest va entrar en vigor el 2005, precisament l'any de publicació del primer *Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*.

L'objectiu d'aquest capítol és donar una idea bàsica sobre com funcionen i com estan estructurades les negociacions internacionals sobre el canvi climàtic. El capítol se centra particularment en el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, el principal fòrum negociador internacional sobre el canvi climàtic, però també descriu amb cert detall el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic i, breument, altres fòrums negociadors.

Aquest capítol posa un èmfasi especial en els elements processals de les negociacions, així com en els esdeveniments que han tingut lloc des de l'edició anterior d'aquest informe, el 2005, principalment la negociació del període conegut com a *post-Kyoto* (més enllà del 2012). Les negociacions post-Kyoto van començar a Buenos Aires el 2004, i compten amb un seguit d'episodis, des de Mont-real, Nairobi, València, Bali, i Poznan fins al més recent, la cimera de Copenhaguen, el desembre del 2009.

El capítol està estructurat en tres parts. La primera part explica breument la història del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, des dels orígens fins a l'entrada en vigor del Protocol de Kyoto. L'objectiu d'aquesta part

és donar el context històric necessari. La segona part analitza les qüestions d'estructura i de procés de les negociacions, incloent-hi l'estructura institucional del Conveni, els principals actors, les regles de procediments i altres fòrums internacionals. Aquesta part està especialment dedicada als lectors que no estan familiaritzats amb el sistema de les Nacions Unides i el procés negociador. A causa de la complexitat del procés, la segona part ocupa gairebé la meitat del capítol. La tercera part descriu les negociacions del període post-Kyoto, és a dir, les negociacions per elaborar una resposta internacional al canvi climàtic més enllà del 2012. Aquesta part descriu les negociacions entre els anys 2004 i 2009, incloent-hi la història i els principals aspectes de la negociació, així com la cimera de Copenhaguen. La tercera part conclou amb una breu perspectiva sobre les trajectòries i resultats que es poden esperar de les negociacions.

13.1. Breu història del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic 1990-2005

13.1.1. Orígens

Durant els anys vuitanta del segle passat, la creixent evidència científica i les campanyes dels ecologistes van causar una conscienciació i una preocupació públiques pel canvi climàtic causat per l'augment de les concentracions atmosfèriques de gasos amb efecte d'hivernacle degut a l'activitat humana. El creixent interès públic, i conseqüentment polític, van dur l'Organització Meteorològica Mundial i el Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient (PNUMA o UNEP¹) a establir, el 1988, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC²).

El 1990, el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic va publicar el seu primer informe d'avaluació³, que, conjuntament amb l'impetu proporcionat pel Segon Congrès

1. Sigla de *United Nations Environmental Programme*.

2. Sigla de *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

3. IPCC 1990.

Mundial del Clima (organitzat per l'Organització Meteorològica Mundial del 29 d'octubre al 7 de novembre d'aquell mateix any a Ginebra), va augmentar l'atenció política sobre el canvi climàtic a nivell internacional. L'11 de desembre de 1990, l'Assemblea General de les Nacions Unides va adoptar la resolució 45/212, que establia un Comitè Negociador Intergovernamental (INC⁴) per tal de negociar un conveni marc sobre el canvi climàtic. Entre febrer de 1991 i maig de 1992, el Comitè Negociador Intergovernamental es va reunir en cinc ocasions, que van comptar amb representants de més de 150 països.

El Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic es va adoptar a Nova York el 9 de maig de 1992 i es va obrir a les signatures el juny del mateix any, durant la Conferència de les Nacions Unides pel Medi Ambient i el Desenvolupament a Rio de Janeiro, també coneguda com a *Cimera de la Terra*. Durant la cimera de la Terra 155 països van signar el Conveni. El 21 de març de 1994, 90 dies després de rebre la 50a ratificació, el Conveni va entrar en vigor.

13.1.2. Negociació del Protocol de Kyoto

Després de la signatura del Conveni, el Comitè Negociador Internacional es va reunir en sis ocasions per tal de negociar els elements a tractar en la Primera Conferència de les Parts (l'òrgan de govern suprem del Conveni, conegut com a COP, vegeu la secció 13.2.2). La primera Conferència de les Parts es va reunir a Berlín del 28 de març al 7 d'abril de 1995. El resultat principal va ser el que es coneix com a *Mandat de Berlín*, que establia un Grup *Ad Hoc* sobre el Mandat de Berlín (AGBM^{5,6}), encarregat de començar un procés que conduís a acció apropiada més enllà de l'any 2000, incloent-hi compromisos dels països desenvolupats mitjançant l'adopció d'un protocol o altres instruments legals vinculants. El procés del canvi climàtic seguia les passes del procés per respondre al problema del forat en la capa d'ozó, on primer es va acordar un conveni (el Conveni de Viena) i després un Protocol (el Protocol de Mont-real).

L'AGBM es va reunir en vuit ocasions entre l'agost de 1995 i l'octubre de 1997. El treball de l'AGBM va culminar a la Tercera Conferència de les Parts, celebrada de l'1 al 10 de desembre a Kyoto, amb l'adopció del Protocol de Kyoto.⁷ El Protocol de Kyoto compromet els països desenvolupats i amb economies en transició (conjuntament coneguts com a *Annex I* sota el Conveni) a reduccions quantificades en les emissions de sis gasos amb efecte d'hivernacle.⁸ Els països de l'Annex I es van comprometre a reduir les emissions conjuntes un 5,2 % respecte als nivells de 1990 en el període comprés entre 2008 i 2012, el que es coneix com a primer període de compromís, amb objectius específics per a cada país. Aquests objectius específics es troben reflectits en l'Annex B del Protocol de Kyoto⁹ (vegeu la taula 2). El Protocol també estableix uns mecanismes de flexibilitat basats en el comerç d'emissions per tal de facilitar als països de l'Annex I el compliment dels compromisos d'una manera eficient. La negociació de les regles específiques i els detalls operacionals per determinar el nivell d'assoliment dels objectius i el funcionament dels mecanismes de flexibilitat es va deixar per trobades posteriors. El Protocol de Kyoto es va dissenyar amb un sistema innovador de ratificació segons el qual, perquè entrés en vigor, l'havien de ratificar almenys 55 països membres, incloent-hi països de l'Annex I que representessin com a mínim el 55 % de les emissions de diòxid de carboni emeses pels països de l'Annex I el 1990.¹⁰ A la pràctica, això significava que si els EUA no ratificaven el Protocol, tota la resta de països industrialitzats, excepte un de mitjà, havien de ratificar-lo perquè entrés en vigor. Això és el que es va esdevenir

7. Per una història detallada del Protocol de Kyoto, vegeu per exemple Grubb et al., 1999.

8. El Protocol de Kyoto considera sis gasos amb efecte d'hivernacle inclosos en l'Annex A: diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄), òxid nitrós (N₂O), hidrofluorocarburs (HFC), perfluorocarburs (PFC), i hexafluorur de sofre (SF₆).

9. Podeu veure una versió en català del Protocol de Kyoto i el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic a: http://mediambient.gencat.cat/cat/el_medi/C_climatic/text_protocol_kyoto.jsp i a http://mediambient.gencat.net/cat/el_medi/C_climatic/conveni_canvi_climatic.jsp

10. Article 25 del Protocol de Kyoto.

4. Sigla de *Intergovernmental Negotiating Committee*.

5. Sigla de *Ad Hoc Group on the Berlin Mandate*.

6. Decisió 1/CP.1.

finalment, amb la ratificació de tots el països de l'Annex B excepte els EUA, Austràlia, i Mònaco.¹¹

13.1.3. Operacionalització i entrada en vigor del Protocol de Kyoto

La Quarta Conferència de les Parts es va celebrar a Buenos Aires, del 2 al 13 de novembre del 1998, i va desembocar en el Pla d'Acció de Buenos Aires, que tenia l'objectiu d'assolir un acord que fes operatiu el Protocol de Kyoto, incloent-hi aspectes com els mecanismes de flexibilitat, un règim de compliment, inventaris d'emissions, comptabilitat de reducció d'emissions i regles per comptabilitzar els embornals de gasos amb efecte d'hivernacle. El Pla d'Acció de Buenos Aires establia la Sisena Conferència de les Parts com a data límit per assolir un acord.

La primera part de la Sisena Conferència de les Parts es va celebrar a L'Haia del 13 al 25 de novembre del 2000. Les negociacions van fracassar de manera dramàtica, principalment a causa d'aspectes de compliment i ús del sòl (LULUCF¹²), i es van posposar fins al 2001. El 29 de març del 2001, els EUA van anunciar la seva renúncia al Protocol de Kyoto, que consideraven «irreparablement defectuós» ja que perjudicava la seva economia i exclouia la plena participació dels països en desenvolupament. La segona part de la Sisena Conferència de les Parts es va celebrar a Bonn del 16 al 27 de juliol del 2001. Durant aquesta sessió es va aconseguir un acord polític sobre els aspectes generals, els Acords de Bonn, però no es va finalitzar la negociació dels detalls tècnics; com a conseqüència, els esborranys dels textos negociats es van remetre a la següent conferència de les parts. La sessió a Bonn també va desembocar en el compromís polític d'un grup de països desenvolupats, que van prometre finançament addicional per als països en desenvolupament; promesa complerta, segons els primers, i incomplerta, segons els darrers, que argumenten que els països desenvolu-

pats tan sols van redirigir finançament ja existent per a l'ajuda al desenvolupament.

La Setena Conferència de les Parts es va celebrar a Marràqueix entre el 29 d'octubre i el 9 de novembre del 2001, i va propiciar els Acords de Marràqueix, que finalment feien operatiu el Protocol de Kyoto. Els Acords de Marràqueix inclouen, entre d'altres, decisions respecte dels mecanismes de flexibilitat, ús del sòl, regles de compliment, comunicació i revisió d'emissions nacionals, capacitació i tecnologia. Els Acords també van establir tres fons financers, el Fons per als Països Menys Desenvolupats, el Fons Especial per al Canvi Climàtic, i el Fons d'Adaptació.

El 18 novembre del 2004 la Federació Russa va ratificar el Protocol de Kyoto, cosa que satisfia les condicions suficients perquè aquest entrés en vigor el 16 de febrer del 2005. Del 28 de novembre al 10 de desembre del 2005 es va celebrar a Mont-real l'Onzena Conferència de les Parts, que representava també la Primera Trobada de les Parts del Protocol de Kyoto (el màxim òrgan de govern del Protocol, vegeu la secció 13.2.2). Durant la trobada, es van adoptar formalment els Acords de Marràqueix,¹³ pels quals el Protocol de Kyoto va esdevenir totalment operatiu.

13.2. El procés negociador

Aquesta secció explora els principals elements del procés negociador. Aquests inclouen els actors de les negociacions, l'estructura del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, el *modus operandi* de les negociacions i una descripció de fòrums alternatius.

13.2.1. Actors del Conveni marc sobre el canvi climàtic. Qui és qui?

El Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic compta amb nombrosos actors. Per exemple, reunions com la COP 3, que es va celebrar a Kyoto, o la COP 13, que va tenir lloc

11. Austràlia i Mònaco van ratificar el protocol el 2007 i el 2006, respectivament. Els EUA van retirar la seva signatura el 2001.

12. Sigla de *Land Use, Land Use Change and Forestry*, que inclou aspectes forestals i de canvi d'ús del sòl.

13. Els Acords de Marràqueix, negociats el 2001, es van adoptar formalment com un paquet de 36 Decisions per la COP/MOP1. Les Decisions inclouen de 1/CMP.1 a 36/CMP.1, en FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1-4. Per a una explicació de la nomenclatura dels documents del Conveni, vegeu la secció 13.2.3.2.

a Bali, van superar els deu mil participants. La COP 15, efectuada a Copenhaguen, va batre tots els rècords, amb la presència de quaranta set mil participants. Tots els que formen part de les negociacions estan formalment acreditats sota una de les quatre categories següents (no s'admet doble acreditació):

- Països
- Organitzacions observadores
- Mitjans de comunicació
- Secretaria.

A continuació es descriuen amb més detall aquestes categories, així com els diferents grups i coalicions negociadores.

13.2.1.1. Països

El Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic compta amb 193 països membres i la Comunitat Econòmica Europea. La taula 1 llista els membres del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic.

Com es pot observar, els membres del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi

Afganistan	Costa d'Ivori	Illes Salomó	Moldàvia	Senegal
Albània	Costa Rica	Índia	Mònaco	Sèrbia
Alemanya	Croàcia	Indonèsia	Mongòlia	Seychelles
Algèria	Cuba	Iran	Montenegro	Sierra Leone
Angola	Dinamarca	Irlanda	Myanmar	Singapur
Antigua i Barbuda	Djibouti	Islàndia	Namíbia	Síria
Aràbia Saudita	Dominica	Israel	Nauru	Somàlia
Argentina	Egipte	Itàlia	Nepal	Sri Lanka
Armènia	El Salvador	Iraq	Nicaragua	Sud-àfrica
Austràlia	Emirats Àrabs Units	Jamaica	Níger	Sudan
Àustria	Equador	Japó	Nigèria	Suècia
Azerbaidjan	Eritrea	Jordània	Niue	Suïssa
Bahames	Eslovàquia	Kazakhstan	Noruega	Surinam
Bahrain	Eslovènia	Kenya	Nova Zelanda	Swazilàndia
Bangla Desh	Espanya	Kirguizistan	Oman	Tadjikistan
Barbados	Estats Units d'Amèrica	Kiribati	Països Baixos	Tailàndia
Bèlgica	Estònia	Kuwait	Pakistan	Tanzània
Belize	Etiòpia	Laos	Palau	Timor Oriental
Benín	Fiji	Letònia	Panamà	Togo
Bhutan	Filipines	Lesotho	Papua Nova Guinea	Tonga
Bielorússia	Finlàndia	Líban	Paraguai	Trinitat i Tobago
Bolívia	França	Libèria	Perú	Tunísia
Bòsnia i Hercegovina	Gabon	Líbia	Polònia	Turkmenistan
Botswana	Gàmbia	Liechtenstein	Portugal	Turquia
Brasil	Geòrgia	Lituània	Qatar	Tuvalu
Brunei	Ghana	Luxemburg	Regne Unit	Txad
Bulgària	Grenada	Macedònia	República Centreafricana	Ucraïna
Burkina Faso	Grècia	Madagascar	República Democràtica del Congo	Uganda
Burundi	Guatemala	Malàisia	República Dominicana	Uruguai
Cambodja	Guinea	Malawi	República Txeca	Uzbekistan

Camerun	Guinea Bissau	Maldives	Romania	Vanuatu
Canadà	Guinea Equatorial	Mali	Rússia	Veneçuela
Cap Verd	Guyana	Malta	Rwanda	Vietnam
Colòmbia	Haití	Marroc	Saint Christopher i Nevis	Xile
Comores	Hondures	Maurici	Saint Lucia	Xina
Comunitat Econòmica Europea	Hongria	Mauritània	Saint Vincent i les Grenadines	Xipre
Congo	Iemen	Mèxic	Samoa	Zàmbia
Corea del Nord	Illes Cook	Micronèsia	San Marino	Zimbabwe
Corea del Sud	Illes Marshall	Moçambic	São Tomé i Príncipe	

Taula 1. Països membres del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic (Desembre del 2009)¹⁴.

climàtic són gairebé universals. Tan sols dos països, Andorra i el Vaticà, no l'han ratificat, i tenen l'estatus d'observadors. D'aquests, Andorra està tramitant activament la seva ratificació, i és probable que esdevingui membre del Conveni durant el 2010.¹⁵ Dels 194 membres del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, a finals del 2009 tots havien ratificat el Protocol de Kyoto excepte quatre: l'Afganistan, els Estats Units d'Amèrica, San Marino i Somàlia.

Els països membres del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic estan formalment dividits en dos grups, els que pertanyen a l'Annex I, i els que no. Aquesta divisió es va establir durant la negociació de conveni prèvia a 1992, i agrupa els països desenvolupats (bàsicament els membres de la OCED) i els països econòmicament més avançats de l'antic bloc soviètic (economies en transició) en l'Annex I; la resta, per defecte, formen part del que coneix com a *no-Annex I*. L'expressió *Annex I* s'utilitza habitualment com a sinònim de països desenvolupats, mentre que el terme *no-Annex I* s'empra com a sinònim de països en desenvolupament, tot i que aquesta descripció no és tècnicament correcta, ja que països rics com Singapur, Israel o els Emirats Àrabs Units no pertanyen a l'Annex I. La separació de països rics i pobres en annexos ha estat molt criticada, ja que és una separació estàtica, congelada en el temps, que no reflecteix la realitat dinàmica en l'evolució de la riquesa dels països. Una altra crítica és que la distinció no

considera emissions per càpita, ni separa grans emissors de petits emissors.

La majoria de països inclosos en l'Annex I van assolir compromisos de reduccions d'emissions dins el Protocol de Kyoto. Aquests compromisos van quedar recollits al Protocol en l'Annex B (vegeu la taula 2). Dins l'Annex B, la Comunitat Econòmica Europea va assolir un compromís conjunt¹⁶ (conegut com a *bombolla europea*), que després es va distribuir entre els seus membres mitjançant negociació interna.¹⁷ La taula 2 llista els països inclosos en l'Annex I, els compromisos de reducció recollits en l'Annex B i la distribució de la bombolla europea. Les xifres representen l'objectiu percentual d'emissions respecte de l'any de referència.¹⁸

Els països no-Annex I es troben majoritàriament agrupats sota el G-77/Xina, grup que es descriu a la secció 13.2.1.4.

Els representants dels països porten una targeta d'acreditació de color rosa, excepte el cap de delegació, que té una acreditació de color granat.

13.2.1.2. Organitzacions observadores

Les normes de participació estableixen que qualsevol organització del sistema de les Nacions Unides o qualsevol altre òrgan o organització, ja sigui governamental o no governamental, nacional

14. Adaptat de www.unfccc.int.

15. Comunicació informal durant la COP 15.

16. Els compromisos conjunts estan regulats per l'article 4 del Protocol de Kyoto. El compromís conjunt de la Comunitat Econòmica Europea era per l'Europa dels Quinze.

17. Decisió del Consell 2002/358/EC, de 25 d'abril de 2002.

18. L'any de referència és el 1990, llevat d'alguns països amb economies en transició.

Annex I	Annex B	Bombolla europea	Annex I	Annex B	Bombolla europea
Austràlia	108%		Liechtenstein ¹⁹	92%	
Àustria	92%	87%	Lituània	92%	
Bielorússia	[92%] ²⁰		Luxemburg	92%	72%
Bèlgica	92%	92,5%	[Malta ²¹]	N/A	
Bulgària	92%		Mònaco ²²	92%	
Canadà	94%		Països Baixos	92%	94%
Croàcia ²³	95%		Nova Zelanda	100%	
República Txeca ²⁴	92%		Noruega	101%	
Dinamarca	92%	79%	Polònia	94%	
Estònia	92%		Portugal	92%	127%
Comunitat Econòmica Europea	92%	92%	Romania	92%	
Finlàndia	92%	100%	Federació Russa	100%	
França	92%	100%	Eslovàquia ²⁵	92%	
Alemanya	92%	79%	Eslovènia ²⁶	92%	
Grècia	92%	125%	Espanya	92%	115%
Hongria	94%		Suècia	92%	104%
Islàndia	110%		Suïssa	92%	
Irlanda	92%	113%	Turquia	N/A ²⁷	
Itàlia	92%	93,5%	Ucraïna	100%	
Japó	94%		Regne Unit	92%	87.5%
Letònia	92%		EUA	93%	

Taula 2. Annex I, Annex B i bombolla europea

Fonts: www.unfccc.int, www.europa.eu

o internacional, que sigui competent en assumptes tractats pel Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic pot ser

19. Afegit a l'Annex I el 1997 segons la decisió 4/CP.3.

20. Bielorrússia es va incloure a l'Annex B el 2006 mitjançant una esmena segons la decisió 10/CMP.2. Segons l'article 20 del Protocol, aquesta esmena ha de ser ratificada per tres quartes parts dels membres del Protocol per entrar en vigor. A finals de 2009, l'esmena encara no havia entrat en vigor.

21. Malta no és originàriament membre de l'Annex I. La COP-15 va aprovar una esmena a l'Annex I per incloure-hi Malta, FCCC/CP/2009/L.2. Perquè aquesta esmena entri en vigor, segons els Articles 16.3 i 15.4 del conveni cal que la ratifiquin mitjançant l'instrument d'acceptació tres quartes parts dels països membres.

22. Afegit a l'Annex I el 1997 segons la decisió 4/CP.3.

23. Afegida a l'Annex I el 1997 segons la decisió 4/CP.3.

24. Anomenada antigament Txecoslovàquia, afegida a l'Annex I el 1997 segons la decisió 4/CP.3.

25. Abans Txecoslovàquia, afegida a l'Annex I el 1997 segons la decisió 4/CP.3.

26. Afegida a l'Annex I el 1997 segons la decisió 4/CP.3.

27. Turquia va quedar exempta de compromisos de reduccions d'emissions segons la decisió 26/CP.7.

admesa com a organització observadora si no és que s'hi oposin un terç dels països membres.²⁸ Les organitzacions observadores poden acreditar observadors a les negociacions, fer intervencions a discreció del president de les negociacions i contribuir a la documentació i comentaris previs a les reunions. Els observadors no poden negociar i, en general, no poden participar en els grups de contacte informals llevat que se'ls convidi explícitament.

Les organitzacions observadores es divideixen en tres tipus:

- Òrgans i agències de les Nacions Unides.
- Organitzacions intergovernamentals.
- Organitzacions no governamentals (ONG).

28. La participació d'organitzacions observadores està regulada per mitjà del Conveni (Article 7.6), de les regles provisionals de procediment (FCCC/CP/1996/2, articles 6, 7 i 8) i de la decisió 36/CMP.1 (paràgraf 2c).

Òrgans i agències de les Nacions Unides

Tots els òrgans i agències de les Nacions Unides poden participar com a observadors del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. Aquestes organitzacions inclouen un ampli ventall, vegeu per exemple la taula 4 a la pàgina 532. Aquesta categoria també inclou les secretaries d'altres tractats multilaterals ambientals, com per exemple el Conveni sobre la Biodiversitat, el Conveni per Combatre la Desertificació, o la Convenció de Viena per a la protecció de la capa d'ozó. Els observadors d'òrgans i agències de les Nacions Unides porten acreditació blava, com la Secretaria.

Organitzacions intergovernamentals

Es consideren organitzacions intergovernamentals aquelles organitzacions establertes conjuntament per governs nacionals i que no formen part del sistema de les Nacions Unides. En són exemples els bancs de desenvolupament regionals, l'Organització per a la Cooperació Econòmica i el Desenvolupament (OCED), l'Agència Espacial Europea, el Comitè Internacional de la Creu Roja, o la Unió Internacional per a la Conservació de la Natura (IUCN²⁹).

A finals del 2009 hi havia 165 organitzacions intergovernamentals registrades com a organitzacions observadores.³⁰ Els seus representants porten acreditacions verdes.

Organitzacions no governamentals (ONG)

Les organitzacions no governamentals representen un ampli ventall de la societat civil i comprenen el gruix de les organitzacions observadores del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic.

En un principi, les organitzacions no governamentals pertanyien majoritàriament als grups ecologistes i a la indústria. A mesura que va anar augmentant el nombre d'organitzacions, es van crear grups de coordinació per facilitar les tasques de comunicació amb la Secretaria i per tractar temes d'interès comú. Els primers grups de coordinació van ser els ecologistes (ENGO³¹),

els d'indústria (BINGO³²), i els de recerca (RINGO³³). En els darrers anys, el nombre d'aquests grups ha augmentat fins a nou, els mateixos que reconeix el Consell Econòmic i Social de les Nacions Unides (ECOSOC). Aquest grups són:

- Indústria (BINGO)
- Ecologistes (ENGO)
- Pobles indígenes (IPO)
- Governos locals i municipals (LGMA)
- Recerca (RINGO)
- Sindicats (TUNGO)
- Agricultors
- Dones i gènere
- Joventut (YOUNGO).

Cal ressaltar que aquests grups no tenen poder negociador, i els seus membres no mantenen necessàriament posicions comunes. El grup BINGO, per exemple, compta amb representants de les indústries edílica, petroquímica o nuclear. D'altres organitzacions, com per exemple les de caire religiós o els governs regionals, no estan representades per cap dels nou grups de coordinació.

El cas dels governs regionals, locals, municipals o de qualsevol altre nivell subnacional és de particular rellevància per a Catalunya. Els governs dels països membres del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic decideixen qui forma part i qui no de la delegació nacional. En molts casos, les delegacions oficials dels països inclouen representants de governs subnacionals i altres entitats. En altres ocasions, però, els representants subnacionals no aconsegueixen acreditació del govern central, o tan sols aconsegueixen acreditació per a un o dos representants, i han de participar com a organització no governamental. Aquesta situació és comuna no tan sols per governs subnacionals, sinó també per ministeris rivals o representants de l'oposició.

En el cas de Catalunya, els representants de la Generalitat de vegades participen amb la

29. Sigla d'*International Union for the Conservation of Nature*.

30. www.unfccc.int

31. Sigla d'*Environmental Non-Governmental Organizations*.

32. Sigla de *Business and Industry Non-Governmental Organizations*.

33. Sigla de *Research and Independent Non-Governmental Organizations*.

delegació espanyola i de vegades com a membres d'organitzacions no governamentals, generalment de caire regional.³⁴ Tot i que recentment hi ha una major inclusió de les autonomies en la delegació espanyola, no existeix una norma clara al respecte. Els representants d'ajuntaments com el de Barcelona acostumen a participar com a membres de l'organització no governamental ICLEI.³⁵

A finals del 2009 hi havia vora 1.300 organitzacions no governamentals acreditades com a organització observadora,³⁶ incloent-n'hi sis amb seu a Catalunya. Els representants de les ONG porten acreditació groga.

13.2.1.3. Mitjans de comunicació

Els representants acreditats de la premsa i els mitjans de comunicació audiovisuals tenen accés a les conferències de les Parts i a les reunions dels òrgans subsidiaris. Els representants dels mitjans de comunicació poden assistir a les sessions plenàries, als actes paral·lels i les rodes de premsa, així com entrevistar als participants. No poden assistir, però, als grups de contacte ni als grups informals, ni participar substantivament en cap aspecte de les negociacions. L'ús d'equipament audiovisual està permès, per bé que regulat, per tal que no interfereixi en les negociacions.

El grau de participació dels mitjans de comunicació en les reunions del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic varia dràsticament segons l'interès públic en un moment donat. Així, cimeres com la de Kyoto, celebrada el 1997, i la de Copenhaguen, efectuada el 2009, van comptar amb uns quants milers de periodistes acreditats. A la cimera de Bali del 2007 van participar-hi vora dos mil periodistes, i les tretze COP restants van comptar amb menys d'un miler de periodistes. Les sessions dels òrgans subsidiaris atrauen molta menys atenció mediàtica. El color de les acreditacions dels periodistes varia, però sempre és un color vistós fàcilment identificable de lluny.

13.2.1.4. Grups formals i coalicions negociadores

Dins del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic existeixen grups formals de països i coalicions negociadores. Els grups formals estan determinats bé per les Nacions Unides, bé per alguna decisió o article rellevant del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic o el Protocol de Kyoto. Les coalicions negociadores estan formades per grups de països o organitzacions amb interessos comuns per tal de negociar o promoure la seva agenda d'una manera més eficaç i eficient. Tant els grups formals com les coalicions tenen un paper molt important en les negociacions. A continuació es descriuen els grups principals (excepte l'Annex I, que ja s'ha descrit).

Grup dels 77 i la Xina

Habitualment els països en desenvolupament negocien i coordinen els seus interessos mitjançant el que es coneix com a *Grup dels 77 i la Xina* (G-77/Xina). El G-77/Xina comprèn gairebé tots els països no-Annex I, amb les excepcions notables de Mèxic i Corea del Sud. El G-77 es va crear el 1964 en el context de les negociacions de la Conferència de les Nacions Unides sobre Comerç i Desenvolupament (UNCTAD³⁷). Actualment el G-77 funciona per tot el sistema de les Nacions Unides, compta amb més de 130 membres i s'anomena *Grup dels 77 i la Xina*. El G-77/Xina és presidit anualment per un país diferent. A les negociacions del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, el G-77/Xina és representat pel país que n'exerceix la presidència a les sessions plenàries, tot i que les responsabilitats es distribueixen en els subgrups de negociació. Com que el G-77/Xina és el grup que representa més països i població, és habitual que sigui el primer de prendre la paraula en les sessions plenàries.

Durant les negociacions, el G-77/Xina manté reunions de coordinació diàries, per arribar a postures comunes en els diferents punts de l'agenda. No obstant això, a causa de la gran diversitat d'interessos representats pel G-77/Xina,

34. Per exemple FEDARENE o NRG4SD.

35. www.iclei.org.

36. http://unfccc.int/parties_and_observers/ngo/items/3667.php.

37. Sigla de *United Nations Conference on Trade and Development*.

és habitual que alguns subgrups —que s'expliquen a continuació— també intervinguin en els debats. Les reunions de coordinació del G-77/Xina són notables dins el procés perquè sovint s'endarrerixen, cosa que retarda les sessions, ja que fins que el G-77/Xina no arriba, no es pot negociar.

A gairebé totes les COP hi ha temes concrets en què el G-77/Xina no pot arribar a postures comunes, a causa de la diversitat d'interessos interns. Aquestes desavinences sovint provoquen rumors sobre l'imminent ruptura del G-77/Xina. No obstant això, el G-77/Xina ha mostrat ser una aliança molt resistent. El fet que el G-77/Xina funcioni en tots els processos de les Nacions Unides fa que el seu valor superi el valor de gairebé qualsevol tema en negociació, per la qual cosa és improbable que diferències d'opinió sobre el canvi climàtic en causin la ruptura.

Unió Europea

Els 27 membres de la Unió Europea negocien en bloc i presenten una postura negociadora comuna. El país que ocupa la presidència europea parla en nom de la Comunitat Econòmica Europea i els seus 27 membres. Espanya va ser el portaveu de la Unió Europea el primer semestre del 2010. La Comunitat Econòmica Europea és membre del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic en qualitat d'organització d'integració econòmica regional, però no disposa de cap dret de vot addicional al que pertoca als seus membres. La Comunitat Econòmica Europea està representada per la Comissió Europea.

Dels 27 membres de la Unió Europea, els quinze originals del 1997, quan es va signar el Protocol de Kyoto, tenen compromisos de reducció conjunts del 8 %, distribuïts internament tal com queda reflectit en la taula 2 (secció 13.2.1.2.). Els 10 membres de l'antiga Europa de l'Est tenen compromisos propis adquirits independentment quan es va negociar el Protocol. Xipre i Malta no són membres de l'Annex I.³⁸

La Unió Europea manté reunions de coordinació diàries a primera hora del matí, normalment a les 8 h. (les negociacions comencen

regularment a les 10 h.). A les COP, la Unió Europea acostuma a tenir un pavelló exclusiu, en què disposa d'oficines per a reunions, de sales per a presentacions, d'oficines nacionals i de documentació.

Catalunya, les regions i altres entitats subnacionals no juguen cap rol formal en les deliberacions de la Unió Europea. Aquells delegats que compten amb acreditació dins la delegació nacional poden participar en les reunions de coordinació. Si compten amb el suport d'algun país o de la Comissió Europea, les entitats subnacionals acostumen a organitzar esdeveniments en el pavelló europeu. Si les negociacions se celebren a Europa, les autoritats locals compten amb accés privilegiat (normalment perquè proporcionen suport financer i/o logístic).

Països Menys Desenvolupats, Petits Estats Insulars en Desenvolupament, i Països en Desenvolupament Sense Sortida al Mar

Els Països Menys Desenvolupats (LDC³⁹), els Petits Estats Insulars en Desenvolupament (SIDS⁴⁰) i els Països en Desenvolupament Sense Sortida al Mar (LLDC⁴¹) tenen un tractament especial en el context de les Nacions Unides i en el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, a causa de la vulnerabilitat elevada que presenten i de la manca de recursos de què disposen.

Els Països Menys Desenvolupats són els països més pobres i vulnerables de la comunitat internacional. L'estatus de *país menys desenvolupat* està definit per les Nacions Unides i es revisa periòdicament. A finals del 2009, hi havia 49 països reconeguts com a menys desenvolupats, 33 a l'Àfrica, 15 a l'Àsia i Haití.

Les Nacions Unides també defineixen un grup de Petits Estats Insulars en Desenvolupament, que pateixen un seguit de problemàtiques específiques a causa de la insularitat i de la petita extensió que els caracteritza. A finals del 2009, els SIDS incloïen 38 països i 14 estats associats o altres territoris insulars.

El tercer grup de països desfavorits el componen els Països en Desenvolupament Sense

38. Malta ha iniciat el procés per esdevenir membre de l'Annex I, vegeu la nota 21.

39. Sigla de *Least Developed Countries*.

40. Sigla de *Small Island Developing States*.

41. Sigla de *Land-Locked Developing Countries*.

Sortida al Mar. La manca d'accés al mar, l'aïllament dels mercats internacionals i les altes despeses de transport imposen greus restriccions al desenvolupament d'aquests països. Les Nacions Unides reconeixien, a finals del 2009, 31 països amb estatus de LLDC.

Els països poden pertànyer a dos grups a la vegada. Així, 16 dels 31 LLDC i 12 dels 38 SIDS són també un LDC. Per definició, un país no pot ser alhora SIDS i LLDC. Gairebé tots els SIDS, LLDC i LDC són membres del G-77/Xina.

Pel que respecta al Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, els LDC, SIDS i LLDC reben un tractament preferencial en aspectes de finançament, adaptació, capacitat i requeriments sota el Conveni i el Protocol de Kyoto. Com a exemple, els LDC, SIDS i LLDC disposen de finançament especial a través d'un fons de participació per tal de cobrir les despeses de participació de dos representants a les conferències de les Parts i a les reunions dels òrgans subsidiaris.

Aliança dels Petits Estats Insulars

L'Aliança dels Petits Estats Insulars (AOSIS⁴²) és una coalició de 43 estats insulars petits. Pràcticament tots són membres del G-77/Xina, i molts són SIDS. Aquests països són particularment vulnerables a una pujada del nivell del mar ja que, en molts casos, una part o la totalitat de la superfície habitable es troba a molt baixa altitud. En les negociacions del canvi climàtic, els països d'AOSIS juguen un paper més rellevant del que normalment els correspondria per extensió i pes econòmic. Això es deu al fet que l'existència física o la viabilitat econòmica de molts països d'AOSIS està amenaçada pel canvi climàtic (principalment per la pujada del nivell del mar i l'augment de l'intensitat de les tempestes), cosa que els dona un gran pes moral.

Grup Paraigües

El Grup Paraigües està format per països desenvolupats que no pertanyen a cap altre grup: és una mena de calaix de sastre. El Grup Paraigües va evolucionar d'un grup original anomenat

JUSSCANNZ, un acrònim en anglès que n'indica la composició inicial: Japó, els EUA, el Canadà, Suïssa i Nova Zelanda. JUSSCANNZ va ser molt actiu durant la negociació del Protocol de Kyoto.

Els membres habituals del grup paraigües inclouen els de JUSSCANNZ, llevat de Suïssa, a més de Rússia, Noruega, Islàndia i Ucraïna. El Grup Paraigües no s'ha d'entendre com un grup rígid, ja que la seva activitat i composició varia en el temps segons la concordança dels interessos dels països que suposadament en són membres. Així, cada cop que algú parla en nom del Grup Paraigües, a diferència d'altres grups com el G-77/Xina o la Unió Europea, menciona específicament en nom de quins països està parlant.

Grup per a la Integritat Ambiental

El Grup per a la Integritat Ambiental va ser creat el 2000 per Suïssa, Mèxic i Corea del Sud, i encara es manté una dècada més tard. Tant Mèxic com Corea del Sud són països que van pertànyer al G-77 i que el van abandonar en accedir a la OCDE. En termes generals, el Grup per a la Integritat Ambiental juga el paper de part «neutra», tot sovint presentant propostes de compromís entre el G-77/Xina i els països desenvolupats.

Xarxa d'Acció per el Clima

La Xarxa d'Acció per el Clima (CAN⁴³) és una xarxa global d'ONG ecologistes. CAN agrupa unes cinc-centes organitzacions ecologistes que lluiten contra el canvi climàtic, incloses les espanyoles Amics de la Terra, Greenpeace Espanya, WWF Espanya i Ecologistes en Acció. Aquesta última és una confederació estatal de més de 300 organitzacions locals, 15 de les quals de Catalunya. La CAN coordina les seves accions, tant en l'àmbit de les negociacions, mitjançant la presentació de documentació, les propostes d'esmenes i els lobby, com en l'activisme, mitjançant protestes fora de les reunions, la publicació d'un butlletí (ECO) i la distribució d'informació. Per raons històriques, la CAN és el principal portaveu de les ENGO en el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, tot i que no representa a totes les ENGO. El protagonisme de

42. Sigla d'*Alliance Of Small Island States*.

43. Sigla de *Climate Action Network*.

la CAN és sovint motiu de fricció amb altres organitzacions ecologistes, sobretot les que vénen dels països del sud, ja que és percebuda com a representant dels interessos ecologistes del nord.

Altres grups

Gairebé cada reunió negociadora es testimoni de l'aparició d'un o diversos grups negociadors. Alguns d'aquest grups són *ad hoc* per a un tema concret, i d'altres representen les circumstàncies del moment. Pocs d'aquests grups mostren la resistència dels que hem esmentat prèviament. En són exemples recents el grup ALBA (*Alianza Bolivariana por las Américas*), que està format per Veneçuela, Bolívia, Cuba, l'Equador, Nicaragua, Antigua i Barbuda, Saint Vincent i les Grenadines i Dominica, o el grup BASIC (el Brasil, Sud-àfrica, l'Índia i la Xina). Tots dos grups van aconseguir una rellevància mediàtica notable a la COP15 de Copenhaguen, i està per veure com evolucionen en el futur.

Hi ha un altre tipus de grups que apareixen esporàdicament en les negociacions del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, que són els que participen en altres processos i fòrums. En són exemples l'Organització de Països Exportadors de Petroli (OPEP) o l'Organització per a la Francofonia.

Els grups regionals, com el Grup Africà o el Grup de Països de l'Àsia Central, el Caucas, Albània i Moldàvia (CACAM⁴⁴) apareixen i desapareixen de les negociacions segons la unitat política que en mostrin els constituents. Dels grups regionals, el grup Africà és el que històricament s'ha mostrat més actiu.

13.2.1.5. Personalitats

Fins ara aquesta secció s'ha centrat en els actors institucionals. No obstant això, és important mencionar el paper que juguen certs individus en les negociacions. Aquestes persones, els «famosos» de les negociacions, abasten tots els nivells i grups de negociació, des de secretaris executius com Yvo de Boer (Holanda) fins a facilitadors estrella com Michael Zammit Cutajar (Malta) o Kishan Kumarsingh (Trinitat i Tobago), passant

per diplomàtics empedreïts en les negociacions a la seu de les Nacions Unides com John Ashe (Antigua i Barbuda), negociadors històrics com Bernaditas Müller (Filipines), Aysar Tayeb (Aràbia Saudita) o Ian Fry (Tuvalu), delegats en busca de fama i atenció mediàtica com Kevin Konrad (Papua Nova Guinea), veterans ecologistes com Steve Sawyer o per membres de la Secretaria (i antics negociadors) com Haldor Thorgeirsson (Islàndia). Aquest llistat és tan sols il·lustratiu, ja que la llista de personalitats en les negociacions és bastant llarga. El que es vol ressaltar és la importància de certs individus en el procés. Aquesta importància es basa en el lideratge o l'habilitat personal que els caracteritza, més que no pas en l'acreditació que tinguin en un moment donat, ja que aquestes persones participen en gairebé totes les reunions, i sovint canvien de paper (de negociador a facilitador, membre de la Secretaria, observador, o negociador per un altre grup).

13.2.2. Estructura institucional del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic

El Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic està format per òrgans de govern, òrgans subsidiaris, regles de funcionament i una Secretaria, que es descriuen a continuació.

13.2.2.1. Òrgans de govern

Conferència de les Parts i Reunió de les Parts

L'òrgan de govern suprem del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic és la Conferència de les Parts o COP. La Conferència de les Parts disposa del nivell més alt de decisió, i les seves funcions estan establertes en l'article 7 del Conveni. La Conferència de les Parts és responsable de supervisar i prendre les mesures i decisions necessàries per a l'implementació efectiva del Conveni, així com de qualsevol instrument legal associat.

Entre les funcions de la COP explícitament citades en l'article 7, destaquen la supervisió dels compromisos dels països membres, facilitar l'intercanvi d'informació, facilitar la coordinació de les mesures adoptades pels països membres, promoure la creació i el refinament de metodologies comparables per a activitats relacionades amb el

44. Sigla de Central Asia, Caucasus, Albania and Moldova.

Conveni, avaluar el grau d'execució del Conveni, fer recomanacions i exercir aquelles funcions que siguin necessàries per assolir l'objectiu i el compliment del Conveni, mobilitzar recursos financers, considerar, adoptar i publicar informes i considerar les submissions dels òrgans subsidiaris.

A més d'aquestes funcions, segons l'Article 13 del Protocol de Kyoto, la Conferència de les Parts també actua com a *Reunió de les Parts del Protocol de Kyoto*, l'òrgan de govern suprem del Protocol. Així, doncs, des del 2005, quan va entrar en vigor el Protocol de Kyoto, la Conferència de les Parts també actua com a Reunió de les Parts, cosa que es coneix com a *COP/MOP*.⁴⁵ Les funcions de la COP/MOP respecte del Protocol de Kyoto són equivalents a les funcions de la COP respecte del Conveni.

El principal resultat de la Conferència de les Parts pren la forma de decisions, que són documents vinculants per a tots els països i òrgans del Conveni. La Conferència de les Parts també pot produir altres tipus de resultats formals, com declaracions o resolucions —que no tenen poder legal vinculant—, així com informes de les reunions. Entre el 1995 i el 2007, la Conferència de les Parts va adoptar 307 decisions.⁴⁶

La Conferència de les Parts es reuneix anualment,⁴⁷ generalment l'últim trimestre de l'any.⁴⁸ La presidència de la COP segueix una rotació entre les següents cinc regions:

- Àfrica
- Àsia
- Europa de l'Est
- Llatinoamèrica i el Carib
- Europa Occidental i altres.⁴⁹

Normalment, un país de la regió de torn acull la Conferència de les Parts, i el seu ministre de

medi ambient esdevé el president de la COP. Hi ha, però, nombroses excepcions. Si cap país de la regió s'ofereix a acollir la COP, aquesta pot ser acollida per un altre país d'una altra regió, mantenint la presidència original, com és el cas de la COP 5 o de la COP 9 (vegeu la taula 3). En altres casos, les regions es permuten les COP, com en els casos de la COP 9 i la COP 10, o de la COP 15 i la COP 16. Si cap país s'ofereix a acollir la COP, aquesta es reuneix a Bonn, la seu de la Secretaria.

En teoria, es poden celebrar sessions extraordinàries de la Conferència de les Parts si així ho decideix la COP o si una Part ho sol·licita formalment i rep el recolzament d'un terç de les parts en un període de sis mesos.⁵⁰ A la pràctica, no s'ha celebrat mai una reunió extraordinària. No obstant això, la COP 6 de l'any 2000 a l'Haia es va «suspènre» i va continuar al cap de sis mesos a Bonn, en l'anomenada *COP 6 Part II*. El resultat, a tots els efectes excepte el procediment, va ser una COP extraordinària.

Les sessions de la COP generalment duren dues setmanes i se celebren conjuntament amb les sessions dels òrgans subsidiaris. Des que el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic va entrar en vigor el 1994 i fins al 2009, hi ha hagut un total de quinze conferències de les Parts, detallades en la taula 3.

Buró

El Buró és un òrgan electe que guia la feina de la COP i dels òrgans subsidiaris. El Buró està format pel president de la COP, els presidents dels òrgans subsidiaris, set vicepresidents i un secretari. Les cinc regions abans esmentades nomenen dos membres del Buró cadascuna, i l'onzena plaça està reservada per a un membre dels Petits Estats Insulars en Desenvolupament.

El rol del Buró no està descrit ni al text del Conveni ni a les regles provisionals de procediment. Així, doncs, les tasques del Buró s'han anat definint pel costum i pel precedent. El secretari és responsable de l'acta de la COP, i els vicepresidents sovint presideixen la reunió quan el president es troba ocupat en negociacions a porta

45. Sigla de *Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol*.

46. Inclou-hi decisions de la COP/MOP, Muñoz et al., 2009.

47. Article 4, regles de procediment provisionals, FCCC/CP/1996/2.

48. Amb les excepcions de COP-1, COP-2 i COP-6 Part II.

49. Altres inclou: Austràlia, el Canadà, Islàndia, Nova Zelanda, Noruega, Suïssa i els EUA.

50. Article 7.5.

Reunió	Lloc	Data	President
COP 1	Berlín	28 març – 4 abril, 1995	Angela Merkel (Alemanya)
COP 2	Ginebra	8-19 juliol, 1996	Chen Chimutengwende (Zimbabwe)
COP 3	Kyoto	1-11 desembre, 1997	Hiroshi Ohki (el Japó)
COP 4	Buenos Aires	2-14 novembre, 1998	María Júlia Alsogaray (Argentina)
COP 5	Bonn	25 oct. – 5 nov., 1999	Jan Szyszko (Polònia)
COP 6	L'Haia	13-24 novembre, 2000	Jan Pronk (Holanda)
COP 6 Part II	Bonn	13 -27 juliol, 2001	Jan Pronk (Holanda)
COP 7	Marràqueix	29 oct. – 9 nov., 2001	Mohamed Elyazghi (el Marroc)
COP 8	Nova Delhi	23 oct. – 1 nov., 2002	T.R. Baalu (l'Índia)
COP 9	Milà	1-12 desembre, 2003	Miklós Persányi (Hongria)
COP 10	Buenos Aires	6-17 desembre, 2004	Ginés Gonzalez García (Argentina)
COP 11 i COP/MOP 1	Mont-real	28 nov. – 9 des., 2005	Stéphane Dion (Canadà)
COP 12 i COP/MOP 2	Nairobi	6-17 novembre, 2006	Kivutha Kibwana (Kenya)
COP 13 i COP/MOP 3	Bali	3-14 desembre, 2007	Rachmat Witoelar (Indonèsia)
COP 14 i COP/MOP 4	Poznan	1-12 desembre, 2008	Maciej Nowicki (Polònia)
COP 15 i COP/MOP 5	Copenhaguen	7-18 desembre, 2009	Connie Hedegaard (Dinamarca)
COP 16 i COP/MOP 6	Cancún	29 nov – 10 des, 2010	Per determinar

Taula 3. COP i COP/MOP 1995-2010

tancada, sovint de nivell ministerial. El Buró s'ocupa d'aspectes processals que puguin sorgir a la COP, aconsella el president, examina les credencials dels representants nacionals i, juntament amb la Secretaria, revisa les peticions d'acreditació de les organitzacions observadores. Com a exemple de les tasques del Buró, després de la cimera de Copenhaguen, que no va establir un calendari de reunions per al 2010, el Buró va consultar els països i va decidir convocar una reunió el mes d'abril.

13.2.2.2. Òrgans subsidiaris

Els articles 9 i 10 del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic estableixen, respectivament, l'Òrgan Subsidiari d'Assessorament Científic i Tecnològic (SBSTA⁵¹) i l'Òrgan Subsidiari d'Execució (SBI⁵²). A finals del 2009, el Conveni comptava amb dos òrgans subsidiaris addicionals, el Grup *Ad Hoc* per a Compromisos Futurs dels Països de l'Annex I sota el Protocol de Kyoto (AWG-KP⁵³) i el Grup *Ad Hoc* per a

Acció Cooperativa a Llarg Termini sota el Conveni (AWG-LCA⁵⁴). Aquests quatre òrgans subsidiaris es descriuen amb més detall a continuació. Addicionalment, durant els seus quinze anys de vida, el Conveni ha disposat d'altres òrgans subsidiaris *ad hoc* que ja han finalitzat les seves funcions, incloent-hi: el Grup *Ad Hoc* sobre el Mandat de Berlín,⁵⁵ esmentat en la història breu i que es va reunir en vuit ocasions entre el 1995 i el 1997, i el Grup *Ad Hoc* sobre l'Article 13,⁵⁶ que es va reunir en sis ocasions entre el 1995 i el 1996.

SBSTA i SBI

Tant l'SBSTA com l'SBI són els principals òrgans de treball el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. L'SBSTA i l'SBI també actuen com a òrgans subsidiaris del Protocol de Kyoto.⁵⁷

Les reunions de l'SBSTA i de l'SBI duren dues setmanes i, habitualment, se'n celebren dues a l'any: la primera, a començaments d'estiu, i la

51. Sigla de *Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice*.

52. Sigla de *Subsidiary Body of Implementation*.

53. Sigla de *Ad Hoc Working Group Kyoto Protocol*.

54. Sigla de *Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action*.

55. Establert per Decisió 1/CP.1.

56. Establert per la Decisió 20/CP.1.

57. Article 14, Protocol de Kyoto.

segona, a finals d'any, conjuntament amb la Conferència de les Parts.

La principal funció de l'SBSTA és subministrar a la COP i a altres òrgans consell actualitzat sobre els assumptes científics i tecnològics relatius al Conveni. La principal funció de l'SBI és ajudar la COP en l'avaluació i la revisió de la implementació efectiva del Conveni. En particular, l'SBI s'ocupa dels aspectes financers i administratius.

El principal resultat de les reunions de l'SBSTA i l'SBI són documents anomenats *conclusions*. Les conclusions poden incloure mandats en els àmbits respectius, que generalment instrueixen la Secretaria a emprendre alguna acció, o poden proposar esborranys de decisió per a la consideració de la COP o la COP/MOP, que pot decidir adoptar, esmenar o ignorar les propostes. Per bé que formalment són adoptades per la COP o la COP/MOP, a la pràctica, la major part de les decisions es prenen a l'SBSTA i a l'SBI. Quan l'SBSTA o l'SBI «recomana» una decisió a la COP o la COP/MOP, és extremament inusual que sigui rebutjada. Així, la COP o la COP/MOP habitualment només tracta els assumptes més delicats, que no es poden acordar a nivell d'òrgan subsidiari.

AWG-KP i AWG-LCA

Segons l'article 3.9 del Protocol de Kyoto, la consideració dels compromisos futurs de reduccions d'emissions per part dels països de l'Annex I ha de començar set anys abans de la finalització del primer període de compromís. Com que el primer període finalitza el 2012, això significa que el procés de consideració havia de començar, com a molt tard, el 2005.

Sobre la base de l'article 3.9, la primera COP/MOP, celebrada a Mont-real el 2005, va establir l'òrgan subsidiari AWG-KP.⁵⁸ Entre el 2006 i el 2009 l'AWG-KP es va reunir catorze vegades en deu sessions formals.⁵⁹ L'AWG-KP havia de concloure les seves tasques a finals del 2009. No obstant això, la COP 15 de Copenhaguen en va estendre el mandat fins a la COP 16,⁶⁰ presumiblement a finals del 2010.⁶¹

Durant la COP 13 de Bali, es va adoptar el Pla d'Acció de Bali,⁶² establint un procés comprensiu per tal de facilitar l'execució efectiva i sostinguda del Conveni a través d'acció cooperativa fins més enllà del 2012. Es va decidir que el procés es portaria a terme sota un òrgan subsidiari (l'AWG-LCA), amb vistes d'aconseguir un acord a la COP 15. L'AWG-LCA es va reunir vuit vegades el 2008-2009, aproximadament un cop cada tres mesos. El mandat de l'AWG-LCA establia que aquest havia de concloure les seves tasques a finals del 2009. Anàlogament al cas de l'AWG-KP, la COP 15 de Copenhaguen en va estendre el mandat fins a la COP 16.⁶³

En paraules senzilles, els objectius respectius de l'AWG-KP i l'AWG-LCA són establir nous objectius d'emissions pels països rics dins el Protocol de Kyoto, i decidir com involucrar tots els països (incloent-hi els que estan en desenvolupament i els EUA) en la lluita contra el canvi climàtic a llarg termini. Tot i que l'AWG-KP i l'AWG-LCA són òrgans formalment separats i amb mandats independents, l'acord a l'un és impossible sense l'acord a l'altre, i en moltes ocasions tracten els mateixos temes. Totes les reunions de l'AWG-LCA s'han celebrat en paral·lel amb les de l'AWG-KP. La secció 13.3.3. dona més detalls sobre el contingut de les negociacions de l'AWG-KP i l'AWG-LCA.

13.2.2.3. Secretaria

El paper de la Secretaria està establert en l'Article 8 del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. Entre les tasques de la Secretaria destaquen l'organització de les reunions de les Conferències de les Parts, òrgans subsidiaris i altres òrgans del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, l'assistència als països membres —en particular als països en desenvolupament— per implementar els seus compromisos —incloent-hi compendis d'informació—, assistir en les negociacions, preparar els

58. Decisió 1/CMP.1.

59. Algunes sessions de l'AWG-KP han tingut segona part, de manera anàloga a la COP 6 i COP 6 Part 2.

60. FCCC/KP/CMP/2009/L.8.

61. Tot i que la COP-16 està programada per al 2010, existeix la possibilitat que la COP-16 no conclougui el 2010 i hi hagi parts subsequents.

62. Decisió 1/CP.13.

63. FCCC/CP/2009/L.6.

documents oficials per a les reunions i coordinar-se amb secretaries d'altres institucions rellevants, com ara el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, el Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient o el Fons Mundial per al Medi Ambient (GEF⁶⁴).

Adicionalment, la Conferència de les Parts i els òrgans subsidiaris requereixen de manera regular a la Secretaria que es faci càrrec de tasques o processos específics.

La Secretaria del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic està institucionalment lligada al sistema de les Nacions Unides, i es regeix per les seves normes. El cap de la Secretaria és el secretari executiu, nominat pel secretari general de les Nacions Unides. El secretari executiu del Conveni compta amb rang de secretari general assistent de les Nacions Unides. Des de l'inici, el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic ha comptat amb quatre secretaris executius:

- 1991 – 2002: Michael Zammit Cutajar (Malta)
- 2002 – 2005: Joke Valler-Hunter (Holanda)
- 2005 – 2006: Richard Kinley (interi⁶⁵)
- 2006 – 2010⁶⁶: Yvo de Boer (Holanda).

La seu de la Secretaria es troba a Bonn des del 1996, on gaudeix del suport financer i logístic del govern d'Alemanya.

13.2.2.4. Altres òrgans

Fins ara s'han descrit els principals elements estructurals del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, els seus òrgans de govern i subsidiaris i la Secretaria. Existeixen, però, nombrosos òrgans específics, alguns de permanents i altres de temporals, que també formen

part de l'estructura del Conveni. Les reunions d'aquests òrgans també impliquen negociació, si bé a nivell més tècnic. A continuació, a mode il·lustratiu, se'n descriuen alguns dels més rellevants, tot i que no es pretén donar-ne una llista exhaustiva ni una descripció molt detallada.

Consell Executiu del Mecanisme de Desenvolupament Net

El mecanisme de desenvolupament net és un dels mecanismes de flexibilitat del Protocol de Kyoto (article 12) i està supervisat per un consell executiu,⁶⁷ sota l'autoritat de la COP/MOP.⁶⁸ El Consell Executiu del Mecanisme de Desenvolupament Net es va establir el 2001 mitjançant un «començament ràpid»,⁶⁹ és a dir, sense esperar que els Acords de Marràqueix entressin en vigor, i compta amb deu membres, d'entre els representants dels països membres del Protocol de Kyoto. La composició del Consell és:⁷⁰ un representant per a cadascun dels cinc grups regionals, dos dels països de l'Annex I, dos dels països no-Annex I, i un dels Petits Estats Insulars en Desenvolupament. Fins a finals del 2009, el consell s'havia reunit en 51 ocasions, generalment en reunions de dos dies.

Comitè Supervisor del Mecanisme d'Implementació Conjunta (JISC⁷¹)

El mecanisme d'implementació conjunta és un dels mecanismes de flexibilitat del Protocol de Kyoto (article 6) i està supervisat per un comitè supervisor, sota l'autoritat de la COP/MOP. El Comitè Supervisor es va acordar dins del acord de Marràqueix,⁷² però a diferència del Consell Executiu del Mecanisme de Desenvolupament Net, no va gaudir d'un «començament ràpid», i no va esdevenir operatiu fins que ho va decidir la primera COP/MOP.⁷³ El Comitè Supervisor està constituït per⁷⁴ tres representants de països de l'Annex I amb economies en transició, tres

64. Sigla, en anglès, de *Global Environmental Facility*.

65. Joke Valler-Hunter va morir de càncer l'octubre del 2005, poc abans de la COP 11 & COP/MOP 1, i va ser substituïda interinament per Richard Kinley, sotssecretari executiu del Conveni, que va mantenir el càrrec fins al setembre del 2006, quan el secretari general de les Nacions Unides Kofi Annan va nomenar Yvo de Boer. Richard Kinley va tornar a les seves funcions de sotssecretari executiu, que encara mantenia en escriure aquest capítol.

66. El 18 de febrer del 2010, Yvo de Boer va anunciar la seva dimissió. S'espera que s'anuncii el seu reemplaçament poc després de la publicació d'aquest informe.

67. Article 12.4, Protocol de Kyoto.

68. Decisió 3/CMP.1.

69. Decisió 17/CP.7.

70. Decisió 17/CP.7.

71. Sigla de *Joint Implementation Supervisory Committee*.

72. Decisió 16/CP.7.

73. Decisions 9/CMP.1 i 10/CMP.1

74. Decisió 9/CMP.1

representants de països de l'Annex I no inclosos en la categoria prèvia, tres representants de països no-Annex I i un representant dels Petits Estats Insulars en Desenvolupament.

Grup Expert en Transferència Tecnològica (EGTT⁷⁵)

El Grup Expert en Transferència Tecnològica va ser establert pels Acords de Marràqueix a la COP 7.⁷⁶ La principal tasca del grup d'experts és assessorar en aspectes científics i tècnics per tal d'avançar en el desenvolupament i transferència de tecnologies ambientalment benignes, en el context del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. El grup compta amb 20 membres, segons la següent composició: tres representants de països en desenvolupament per a cadascuna de les regions de l'Àfrica, l'Àsia-Pacífic, i la de Llatinoamèrica i el Carib, un representant dels Petits Estats Insulars en Desenvolupament, i set representants de l'Annex I.

L'EGTT és un grup subsidiari del SBSTA. Generalment es reuneix de manera bianual, uns dies abans que el SBSTA, tot i que ocasionalment celebra reunions especials.

Grup Expert per als Països Menys Desenvolupats (LEG⁷⁷)

El Grup Expert per als Països Menys Desenvolupats⁷⁸ va ser establert pels acords de Marràqueix,⁷⁹ amb l'objectiu d'assistir els països menys desenvolupats en la preparació i execució dels seus programes nacionals d'adaptació. El grup inclou dotze experts, cinc de països africans menys desenvolupats, dos de països asiàtics menys desenvolupats, dos de petits països insulars menys desenvolupats i tres de països desenvolupats.

Grup Consultiu d'Experts (CGE)

El Grup Consultiu d'Experts va ser establert el 1999 per facilitar la preparació de comunicacions nacionals dels països no-Annex I.⁸⁰ El grup es reuneix generalment dues vegades a l'any, i a

més a més organitza tallers regionals. Componen el Grup Consultiu sis experts de l'Annex I, tres experts d'organitzacions regionals i quinze experts de països en desenvolupament, cinc per a cadascuna de les següents regions: Àfrica, Àsia i Llatinoamèrica i el Carib. El mandat del CGE va expirar el 2007, però la COP 15 el va renovar per al període 2010-2012.⁸¹

Grup d'Enllaç Conjunt (JLG⁸²)

El Grup d'Enllaç Conjunt es va establir el 2001, amb l'objectiu de millorar la coordinació entre les secretaries del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, el Conveni de la biodiversitat i la Convenció per Combatre la Desertificació, conegudes conjuntament com les tres convencions de Rio. A finals del 2009, el Grup d'Enllaç Conjunt s'havia reunit en nou ocasions. Una de les decisions més visibles del grup és la publicació d'un calendari conjunt.

13.2.2.5. Altres reunions

A part de les reunions de la COP, la COP/MOP, els òrgans subsidiaris i tots els altres òrgans descrits en l'apartat anterior, el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic realitza nombrosos tallers tècnics, trobades regionals i altres reunions. Aquestes reunions són sovint el resultat de conclusions o decisions de la COP o d'algun òrgan subsidiari. En altres ocasions, formen part del mandat de la Secretaria de subministrar assistència als països en desenvolupament. Sovint, un país interessat en un tema específic actua d'hoste. És difícil seguir el rastre de totes aquestes reunions menors, ja que són nombroses i sovint només anunciades a les parts interessades o per invitació. Per il·lustrar-ne la quantitat, entre el 1999 i el 2007, va haver-hi un mínim de 79 tallers tècnics⁸³ (gairebé nou per any) del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, amb una duració habitual d'entre tres i cinc dies, i una participació entorn al centenar de persones.

75. Sigla d'Expert Group on Technology Transfer.

76. Decisió 4/CP.7.

77. Sigla de Least Developed Countries Expert Group.

78. Vegeu la secció B.1.4.3.

79. Decisió 29/CP.7.

80. Decisió 8/CP.5.

81. FCCC/SBI/2009/L.27 i FCCC/SBI/2009/13

82. Sigla de Joint Liason Group.

83. Muñoz et al., 2009.

13.2.3. Procediment. Modus operandi i regles del joc

13.2.3.1. Consens

L'Article 7(k) del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic estableix que la COP ha d'acordar per consens unes regles de procediment. Aquestes regles es van preparar, però a causa de la manca de consens no es van adoptar formalment a la COP 1 ni a cap de posterior. El Conveni es regeix, doncs, per l'aplicació provisional de les regles de procediment⁸⁴, amb l'excepció de la regla 42, que regula el vot. L'absència de regles de vot significa que totes les decisions s'han de prendre per consens. El consens no és el mateix que la unanimitat, i s'entén com l'absència d'oposició formal de cap país membre. El consens s'escenifica amb el president de la reunió exclamant «veient que no hi ha objeccions, així queda decidit!» i fent copejar el seu martell de fusta. En la pràctica, *consens* significa que qualsevol país té el poder de desviar o dilatar les negociacions, per la qual cosa arribar a cap acord és extremament lent i difícil.

Quan no hi ha acord sobre un punt de l'agenda, o quan no hi ha acord sobre si negociar un punt de l'agenda, segons les regles de procediment provisionals, aquest punt es transfereix automàticament a l'agenda de la següent reunió.

13.2.3.2. Text de negociació i documentació

Per tal d'arribar a conclusions i decisions, els negociadors generalment treballen sobre esborranys de text, negociant línia per línia o paràgraf per paràgraf. L'origen dels textos que serveixen de base de negociació pot ser variat. Generalment es negocia o bé sobre un text proposat pel president o facilitador, o bé sobre la base d'un text proposat formalment per un país o grup de països. Els textos de negociació poden ser formals o informals.

El mecanisme de negociació del text és el mateix que en tot el sistema de les Nacions Unides. Un cop hi ha acord de negociar sobre un text concret, els negociadors llegeixen el text, bé línia per línia o paràgraf per paràgraf. S'hi introduï-

xen les esmenes necessàries a mesura que es va llegint, i quan no hi ha acord, es deixen les diferents opcions o el text en qüestió entre claudàtors. Els claudàtors indiquen que hi ha desacords sobre el text en qüestió, i poden incloure una paraula, una frase, un paràgraf o el text complet. En el cas del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, s'opera amb el benentès que res no està acordat fins que tot està acordat, és a dir, que per a un text concret, mentre hi hagi algun claudàtor actiu, el text no està acordat. Això difereix d'altres processos amb normes específiques, com ara el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, en què l'aprovació línia per línia és consecutiva.

Abans de la cimera de Copenhaguen, el total dels textos en negociació de l'AWG-LCA comprenia unes dues-centes pàgines amb milers de claudàtors,⁸⁵ és a dir, milers de desacords.

La Secretaria té la responsabilitat de preparar tota la documentació oficial del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. La documentació oficial es reconeix perquè té el logotip de les Nacions Unides i el del Conveni, així com un codi únic a cada document. Entendre aquest codi simplifica considerablement la tasca de navegar entre els milers de documents oficials del Conveni.⁸⁶ El codi inclou informació sobre el tractat, l'òrgan subsidiari, l'any, el tipus i l'estatus del document. Així, un document típic del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic tindrà un codi com el que es mostra en el quadre següent:

FCCC/	#	/ANY/	#	/Add.#
	CP	/#/	L.#	/Corr. #
	SBSTA		CRP.#	/Rev. #
	SBI		INF. #	/Amend.
	SB		Summary	#
	KP/AWG		MISC.#	*
	KP/CMP		IDR. #	
	AWGLCA		ARR	
	AG13		OD	
	AGBM		*	

85. Kulovesi i Gutiérrez, 2009; RECIEL 18(3) 2009, 231.

86. Per a una descripció dels codis dels documents de les Nacions Unides, vegeu, per exemple: ST/LIB/SER.B/5/Rev.5, o ST/AI/189/Add.3/Rev.2.

84. FCCC/CP/1996/2.

Un cas especial són les decisions del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. Aquestes se citen com

X/CP.Y o X/CMP.Y

on X és el número de la decisió, CP o CMP es refereix, respectivament, a COP o COP/MOP, i Y és la sessió de la COP o COP/MOP. Per exemple, el Pla d'Acció de Bali és la Decisió 1/CP.13 (primera decisió de la 13a COP). Les decisions, però, no existeixen com a documents independents, i es troben en l'acta de la reunió. El Pla d'Acció de Bali és la Decisió 1/CP.13, que es troba en el document FCCC/CP/2007/6/Add.1*.

Per fer les coses més complicades, totes les decisions, abans de tenir un número X assignat, són un document tipus L, que és el que s'aprova durant el plenari. Així, doncs, el Pla d'Acció de Bali, en el moment de ser aprovat, era el document FCCC/CP/2007/L.7/Rev.1. Com que l'acta de la COP triga uns mesos a sortir publicada, és habitual referir-se a les decisions d'una COP recent pel codi L, cosa que pot crear confusió.

13.2.3.3. Sessions plenàries, grups de contacte i grups informals

La mecànica negociadora és molt similar en totes les reunions de les COP, COP/MOP i òrgans subsidiaris. Totes les reunions compten amb sessions plenàries, grups de contacte i grups informals, que s'expliquen amb més detall tot seguit.

Sessions plenàries

Les reunions de la COP, COP/MOP i òrgans subsidiaris comencen amb una sessió plenària. La primera tasca de la sessió plenària és acordar l'agenda. El president de la sessió presenta l'agenda provisional, elaborada amb l'ajuda del Buró i la Secretaria. Com que cal acordar l'agenda per consens, i normalment no hi ha acord sobre tots els punts, es decideix procedir de manera provisional amb els punts sobre els quals hi ha acord, i realitzar consultes informals sobre la resta.

Per als punts sobre els quals es decideix negociar, s'estableixen grups de contacte o es demana a algun òrgan subsidiari (en el cas de la COP i COP/MOP) que els consideri. Al final de la reunió, si hi ha hagut acord, el grup de contacte o

òrgan subsidiari presentarà una proposta de text sobre el punt en qüestió a la sessió plenària, que el pot adoptar (el més habitual), esmenar (sovint) o rebutjar (poc comú). Si no hi ha hagut acord, el grup de contacte pot fer-ho notar, ja que pot presentar una conclusió especificant-ho, o bé presentar un text amb claudàtors perquè el discuteixi la sessió plenària. La manca d'acord al nivell de grup de contacte té com a conseqüència, en general, o bé la consideració a nivell plenari o a alt nivell de manera informal, o bé la posposició de l'assumpte fins a la reunió següent.

Grups de contacte

Un cop s'ha decidit negociar un assumpte, normalment s'estableix un grup de contacte. El grups de contacte del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic generalment compten amb dos copresidents, l'un d'un país desenvolupat i l'altre d'un en desenvolupament. Els grups de contacte tenen capacitat d'acordar text, és a dir, de negociar línia per línia, en l'assumpte que tracten, i de suggerir conclusions en forma de documents L als plenaris que els han creat. Normalment, els grups de contacte deriven d'un únic òrgan subsidiari, tot i que ocasionalment apareixen grups de contacte mixtos, quan han de tractar temes que se solapen. Els grups de contacte són reunions formals a les quals poden accedir els observadors (però no pas la premsa) i s'anuncien en el programa diari i les pantalles del centre de convencions.

Per tal de permetre la participació de les delegacions petites, en cap moment no hi pot haver més de dos grups de contacte per òrgan subsidiari units a la mateixa hora, cosa que, atesa la proliferació de grups de contacte (per exemple, a Copenhaguen se'n van establir un total de 28) limita significativament el temps de què disposen els grups per reunir-se.

Grups informals

Els grups informals són com els grups de contacte, però no estan oberts als observadors i no s'anuncien públicament. Els grups informals tampoc no poden suggerir text a un òrgan subsidiari: primer s'ha d'acordar formalment en el grup de contacte. Hi ha dos tipus de grups informals. Un tipus deriva dels grups de contacte.

Com que el nombre d'hores que un grup de contacte es pot reunir està molt limitat a causa del gran nombre de grups de contacte i a les restriccions de solapament, és habitual que els grups de contacte continuïn les reunions de manera informal tant com puguin, i un cop arriben a l'acord, es convoca el grup de contacte per adoptar formalment el text i preparar un document L. L'altre tipus són grups que s'han reunit informalment des de bon principi, normalment a causa de la incapacitat d'acordar un grup de contacte o perquè el tema s'ha de tractar a alt nivell. Com a exemple, a la COP 15 de Copenhaguen es van establir un total de 18 grups informals, a més dels 28 grups de contacte.

13.2.3.4. Segment d'alt nivell

El segment d'alt nivell és la secció de la COP que disposa de la representació política més elevada, normalment a nivell ministerial. El segment d'alt nivell generalment ocupa els darrers dos o tres dies de la COP, i té dues parts molt diferenciades. La part pública consisteix en discursos i lectura de declaracions preparades en sessió plenària. L'audiència d'aquesta part no són els participants de la reunió, sinó més aviat els mitjans de comunicació i l'opinió pública domèstica.

L'altra part, la que compta de cara a les negociacions, se celebra a porta tancada, i és on s'arriba als acords polítics en els temes més contenciosos. Les negociacions d'alt nivell són facilitades pel president de la reunió, i típicament tenen lloc la nit de dijous, i la reunió acaba divendres, tot i que en els casos més contenciosos, les negociacions d'alt nivell s'allarguen fins la mateixa nit de divendres.

13.2.3.5. Esdeveniments paral·lels

El esdeveniments paral·lels consisteixen en actes, generalment panells de discussió i taules rodones, organitzats tant per països com per organitzacions observadores, en els quals es discuteixen tota mena d'aspectes relacionats amb el canvi climàtic i les negociacions. Tot i que els esdeveniments paral·lels no són un component formal del procés negociador, tenen una rellevància singular, ja que sovint són el fòrum on es discuteixen idees innovadores que més endavant acaben incorporades en les negociacions.

13.2.4. Altres fòrums de negociació internacional en canvi climàtic

Com s'ha fet notar en la introducció, el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic és el principal fòrum negociador internacional per al canvi climàtic. Però no és l'únic. A continuació s'expliquen altres fòrums, principalment el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic.

13.2.4.1. Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic

El Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) va ser establert pel Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient i per l'Organització Meteorològica Mundial l'any 1988. L'activitat principal l'IPCC és avaluar i proporcionar una visió clara i equilibrada dels coneixements existents sobre el canvi climàtic, tant de caire científic com tècnic i socioeconòmic. L'IPCC no duu a terme tasques de recerca ni de monitoratge de dades relatives al canvi climàtic. Les avaluacions que efectuen es basen en la literatura tècnica i científica, publicada en revistes acadèmiques, diaris i documents tècnics. L'IPCC és un ens independent, obert a tots els països membres del Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient i de l'Organització Meteorològica Mundial.

La feina i qualitat de l'IPCC i els nombrosos científics que el componen ha estat reconeguda en nombroses ocasions, les més notables de les quals han estat l'atorgament, el 2007, del premi Nobel de la Pau pels «seus esforços per generar i disseminar coneixement sobre el canvi climàtic causat pels humans, i per establir els fonaments per a les mesures necessàries per contrarestar aquest canvi».

L'IPCC s'estructura en tres grups de treball, que s'ocupen de les àrees següents:

- Grup de Treball I: avalua els aspectes científics del clima i del canvi climàtic.
- Grup de Treball II: avalua les qüestions relatives a la vulnerabilitat dels éssers humans i els sistemes naturals davant el canvi climàtic, les conseqüències que pot tenir i la possibilitat d'adaptació a aquests canvis.
- Grup de Treball III: avalua les possibilitats de limitar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i mitigar el canvi climàtic en general.

L'IPCC també disposa d'un grup que s'ocupa d'elaborar inventaris nacionals d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. El grup és responsable d'elaborar i revisar metodologia i programes informàtics per al càlcul de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Aquesta metodologia és emprada pel Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic.

L'IPCC compta amb un Buró format per trenta membres electes, un president electe, un secretari general i una petita Secretaria amb seu a l'Organització Meteorològica Mundial, a Ginebra.

La principal tasca de l'IPCC és l'elaboració, a intervals regulars, d'informes d'avaluació exhaustius i rigorosament documentats, que resumeixen l'estat del coneixement i futures projeccions per al canvi climàtic, l'impacte que pot tenir i les possibles mesures de mitigació. Des que va ser creat, l'IPCC ha publicat quatre informes d'avaluació, el darrer el 2007. L'IPCC també prepara informes específics, anomenats *informes especials*, en àrees com, per exemple, la captura i emmagatzematge de carboni, les energies renovables o la reducció de desastres. Tots els informes contenen un resum per a polítics, i estan sotmesos a un rigorós procés de revisió, que consta de tres etapes. En la primera etapa de revisió, l'esborrany preparat pels autors principals es fa circular àmpliament entre els experts en cada camp, que hi fan comentaris. En la segona etapa, el segon esborrany es distribueix entre els experts i els governs de països membres de l'IPCC. La tercera etapa consisteix en la negociació final del text (tan sols el resum per a polítics), paraula per paraula, per part dels governs. Les dues primeres etapes de revisió són, principalment, tècniques i científiques, però la tercera té un component negociador a nivell internacional que és el que ens interessa en aquest capítol. Així, per exemple, l'aprovació del resum final del quart Informe d'Avaluació, el Resum per a Polítics de l'Informe de Síntesi, va ser aprovat pels governs membres a València el novembre del 2007.⁸⁷

Durant les negociacions del resum per a polítics és habitual veure els mateixos negociadors que durant les reunions de la COP o del

SBSTA⁸⁸. Aquests negociadors busquen que el llenguatge i contingut del resum per a polítics sigui compatible amb els seus interessos i posicions al Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, per bé que han de mantenir la integritat científica dels informes. Aquest esforç s'entén, ja que la importància dels informes d'avaluació va molt més enllà d'un compendi de la informació existent. Els informes de l'IPCC són la font de més autoritat que existeix respecte del canvi climàtic, en part a causa de la naturalesa políticocientífica que tenen. Els informes de l'IPCC han tingut històricament una importància clau en la resposta internacional al canvi climàtic. Així, per exemple, el Primer Informe d'Avaluació (1990) es considera que va ser clau en la negociació del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, signat el 1992. El Segon Informe d'Avaluació (1995) va contribuir a la redacció i aprovació del Protocol de Kyoto, l'any 1997. El Tercer Informe d'Avaluació (2001) va influir en l'adopció dels Acords de Marràqueix.

El Quart Informe d'Avaluació consta de quatre volums preparats durant cinc anys i fets públics al llarg de l'any 2007. A causa de la l'extensió de milers de pàgines que té, queda fora de l'abast d'aquest capítol resumir el Quart Informe d'Avaluació, però si se n'haguessin d'extreure les tres conclusions principals, serien: 1) el canvi climàtic és inequívoc; 2) el canvi climàtic és causat per les activitats humanes, i 3) els costos de mitigació són menors que els impactes a llarg termini. De cara a les negociacions, un dels aspectes més importants és la troballa del Grup de Treball III que si es pretén estabilitzar les concentracions atmosfèriques de gasos amb efecte d'hivernacle per sota de les 450 parts per milió, cal que les emissions assoleixin el nivell màxim, com a molt tard, el 2020, i que es redueixin per sota dels nivells de l'any 2000 a mitjan segle XXI.⁸⁹ Els resums per a polítics del Quart Informe d'Avaluació es poden trobar en català i castellà a la pàgina web de l'IPCC.⁹⁰

88. Tot i que no existeix cap relació orgànica entre el Conveni i l'IPCC, o el SBSTA i l'IPCCC.

89. IPCC (2007) WG II Summary for Policymakers, paràgraf 18 i taula SPM 5.

90. www.ipcc.ch.

87. Per a una descripció detallada, vegeu Dimitrov et al., 2007.

Durant l'hivern 2009-2010, l'IPCC va ser el centre d'una polèmica sobre possibles errades en els resultats que presenta, els procediments de revisió i les fonts que utilitza i possibles conflictes d'interessos de qui n'és president, Rajendra Pachauri. Aquesta polèmica va tenir com a conseqüència l'establiment d'un procés d'avaluació extern sobre els mètodes i procediments de l'IPCC.⁹¹

13.2.4.2. Altres òrgans de les Nacions Unides

El 17 d'abril del 2007, el Consell de Seguretat de les Nacions Unides va celebrar el primer debat sobre energia, seguretat i canvi climàtic.⁹² El debat, convocat pel Regne Unit, aleshores president de torn del Consell de Seguretat, no es va cloure amb cap conclusió, i va posar de manifest les objeccions de molts països al fet que el Consell de Seguretat adrecés el canvi climàtic, la majoria basades en l'argument que això envairia competències d'altres òrgans de les Nacions Unides, com ara el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, el Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient o la Comissió per al Desenvolupament Sostenible.⁹³ No obstant això, la sessió va ser històrica, ja que es tractava de la primera vegada que el Consell de Seguretat abordava el canvi climàtic (o qualsevol altre tema mediambiental). El 31 de juliol del 2007, l'Assemblea General de les Nacions Unides va prendre el relleu, celebrant el primer debat exclusiu sobre el canvi climàtic, que va durar dos dies.⁹⁴

Prèviament, del 30 d'abril a l'11 de maig, la Comissió per al Desenvolupament Sostenible havia mantingut la 15a sessió, dedicada, entre d'altres, al canvi climàtic. El 24 de setembre del 2007 el secretari general de l'ONU, Ban Ki-moon, va convocar una reunió d'alt nivell sobre canvi climàtic a la seu de les Nacions Unides a Nova York, en què van participar més de 80 caps d'Estat.⁹⁵

En sis mesos, tan sols a la seu central a Nova York, les Nacions Unides havia celebrat quatre

reunions diferents centrades en el canvi climàtic. Aquest exemple és tan sols la punta de l'iceberg de l'interès de les Nacions Unides pel canvi climàtic. Especialment des de l'any 2007 en endavant, un gran nombre d'organismes de les Nacions Unides s'han interessat pel canvi climàtic, i per com afecta les competències respectives. Una breu visita al portal de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic a Internet⁹⁶ dona una idea de la diversitat i quantitat d'òrgans de les Nacions Unides que estan treballant sobre el canvi climàtic, reflectides a la taula 4.

La taula 4, tot i que extensa, no és exhaustiva, ja que no inclou òrgans com el Consell de Seguretat i l'Assemblea General, ja esmentats, el Consell de Caps Executius (CEB⁹⁷) o l'Oficina del Secretari General, tots ells actius en assumptes relatius al canvi climàtic.

Cadascuna de les institucions llistades en la taula 4 juga un paper en la resposta internacional al canvi climàtic. Algunes, com l'Organització Marítima Internacional i l'Organització Internacional de l'Aviació Civil tenen competències exclusives en la regulació de les activitats internacionals en els sectors respectius del transport marítim i el transport aeri, ambdós fonts significatives d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle no regulades pel Protocol de Kyoto. D'altres hi tenen un paper més simbòlic. Descriure les activitats relacionades amb el canvi climàtic de les institucions llistades en la taula 4 queda fora de l'abast d'aquest capítol. El lector interessat en aquests aspectes pot consultar directament els enllaços subministrats pel portal de Canvi Climàtic de Nacions Unides, així com la informació disponible en el portal complementari Climate-L,⁹⁸ mantingut per l'Institut Internacional per al Desenvolupament Sostenible (IISD).

13.2.4.3. Organitzacions fora de l'àmbit de les Nacions Unides

Existeixen organitzacions i processos internacionals fora de l'àmbit de les Nacions Unides que també duen a terme activitats relacionades amb

91. IPCC 2010.

92. Spence i Wagner 2007a.

93. Spence 2009.

94. Spence i Wagner 2007b.

95. Spence i Wagner 2007c.

96. <http://www.un.org/wcm/content/site/climatechange/pages/gateway>.

97. Sigla de *Chief Executives Board*.

98. www.climate-l.org.

 Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic	 Departament d'Afers Econòmics i Socials de les Nacions Unides	 Organització Meteorològica Mundial
 Comissió Econòmica de les Nacions Unides per a l'Àsia i el Pacífic	 Estratègia Internacional per a la Reducció de Desastres	 Organització Mundial de la Salut
 Comissió Econòmica de les Nacions Unides per a Llatinoamèrica i el Carib	 Fons de les Nacions Unides per a la Població	 Organització Mundial del Turisme
 Fons Mundial per al Medi ambient	 Fons Internacional per al Desenvolupament Agrícola	 Programa de les Nacions Unides per al Desenvolupament
 Oficina de l'Alt Comissionat dels Drets Humans	 Fons Monetari Internacional	 Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient
 Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura	 Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic	 Programa de les Nacions Unides per al SIDA/VIH
 Alt Comissionat de les Nacions Unides per als Refugiats	 Institut de les Nacions Unides per a la Formació i la Recerca	 Programa de les Nacions Unides per als Assentaments Humans
 Banc Mundial	 Oficina per a la Coordinació d'Afers Humanitaris	 Programa Mundial dels Aliments
 Comissió Econòmica de les Nacions Unides per a Europa	 Organització de les Nacions Unides per al Desenvolupament Industrial	 Sistema d'Observació Global del Clima
 Comissió per al Desenvolupament Sostenible	 Organització de les Nacions Unides per a l'agricultura i l'Alimentació	 Unió Internacional de les Telecomunicacions
 Conferència de les Nacions Unides sobre el Comerç i el Desenvolupament	 Organització Internacional de l'Aviació Civil	 Unió Postal Universal
 Convenció de les Nacions Unides per Combatre la Desertificació	 Organització Internacional del Treball	 Universitat de les Nacions Unides
 Convenció sobre la Biodiversitat	 Organització Marítima Internacional	

Taula 4. Organismes de les Nacions Unides relacionats amb el canvi climàtic.

el canvi climàtic. En són exemples l'Agència Internacional de l'Energia, l'Organització de Països Exportadors de Petroli o l'Agència Internacional de les Energies Renovables (IRENA⁹⁹). Com en el cas anterior, queda fora de l'abast d'aquest capítol descriure les activitats de cadascuna. Dos processos, però, destaquen pel rol potencial que tenen en el futur de les negociacions i es descriuen a continuació: el Diàleg de Gleneagles i el Fòrum de les Grans Economies.

Diàleg de Gleneagles

El Grup dels Set es va crear els anys setanta, i estava format pel Canadà, França, Alemanya, el Japó, Itàlia, els Estats Units i el Regne Unit. Amb la caiguda del mur, Rússia va ser convidada com a observadora a les reunions del G-7, i més endavant formalment com a membre, per la qual cosa el G-7 va esdevenir el G-8. El 2009, a la cimera de Pittsburgh (EUA) es va decidir que el G-20 reemplaçaria el G-8 com al principal fòrum econòmic mundial. Els membres del G-20 són, a més dels del G-8, l'Argentina, Austràlia, el Brasil, la Xina, l'Índia, Indonèsia, Corea del Sud, Mèxic, l'Àrabia Saudita, Sud-àfrica, Turquia i la Unió Europea.

L'any 2005, a la cimera de Gleneagles (Regne Unit) el G-8 va iniciar un procés sobre canvi climàtic, energia neta i desenvolupament sostenible. Aquest procés, anomenat *Diàleg de Gleneagles*, es va estendre fins a la reunió del G-8 del 2008 a Hokkaido (el Japó). L'objectiu del Diàleg era contribuir al progrés de les negociacions del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, concentrant-se en el repte estratègic que presenta el canvi climàtic i que requereix transformar el sistema energètic. El Diàleg va convidar els ministres d'energia i medi ambient dels països del G-8 i els de la Xina, l'Índia, Sud-àfrica, el Brasil, Mèxic, Austràlia, Indonèsia, Nigèria, Polònia, Espanya i Corea del Sud, així com els representants de la Comissió Europea, els bancs multilaterals de desenvolupament, l'Agència Internacional de l'Energia i el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic.

El Diàleg de Gleneagles va concloure el 2008 amb un informe del president,¹⁰⁰ les conclusions del qual és poc probable que passin a la història. No obstant això, el Diàleg va ser un procés important, ja que va permetre adreçar el canvi climàtic a nivell internacional fora del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. El Diàleg també va servir de fòrum complementari, ja que va facilitar discussions posteriors a la COP. Amb la conversió oficial del G-8 en el G-20, és possible que s'iniciï un nou procés equivalent al Diàleg de Gleneagles, especialment si les negociacions dins el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic s'estanquen.

Fòrum de les Grans Economies

El Fòrum de les Grans Economies va començar el 2007 per iniciativa del president dels EUA George W. Bush. Inicialment el procés es va anomenar *Reunió dels Grans Emissors* (de gasos amb efecte d'hivernacle), i tenia l'objectiu de reunir els grans emissors, tant del nord com del sud, per establir un objectiu a llarg termini de reduir emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Els membres de la Reunió dels Grans Emissors són els membres del G-8, Austràlia, Corea del Sud, la Xina, l'Índia, el Brasil, Sud-àfrica, Mèxic, Indonèsia i la Unió Europea. El 2008, el procés es va rebatejar com a Reunió de les Grans Economies.

El 2009, el següent president dels EUA, Barack Obama, va anunciar la creació del Fòrum de les Grans Economies per a l'Energia i el Canvi Climàtic, a la pràctica un nou «rebateig» de la Reunió de les Grans Economies. L'objectiu del Fòrum és facilitar un diàleg franc entre els grans països desenvolupats i els països en desenvolupament, per tal d'assolir un resultat positiu en les negociacions del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. El Fòrum va estar molt actiu en els mesos previs a la cimera de Copenhaguen.

El Fòrum és un procés molt similar al Diàleg de Gleneagles, gairebé amb els mateixos participants, però amb la gran diferència de que és controlat i convocat pels EUA. El Fòrum o un procés similar podrien jugar un paper important en

99. Acrònim en anglès d'*International Renewable Energy Agency*.

100. Gleneagles, 2008.

les futures negociacions internacionals sobre el canvi climàtic, sobretot si no hi ha progrés en les negociacions dins el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic.

13.3. 2005-2010: negociacions post-Kyoto

Les negociacions internacionals de canvi climàtic abasten 20 anys d'història. En la secció A s'ha resumit la història del procés fins a l'entrada en vigor i operacionalització del Protocol de Kyoto. Tant aquest període com les implicacions del Protocol es troben descrits en el primer *Informe Sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*, publicat l'any 2005.

Aquesta secció està dedicada a les negociacions post-Kyoto, és a dir, les negociacions que tracten de la resposta internacional al canvi climàtic més enllà del 2012. Les negociacions post-Kyoto van començar el 2004 i encara no han conclòs. La secció està estructurada en cinc parts, que comprenen tres etapes i dues cimeres, la COP 13 de Bali i la COP 15 de Copenhaguen. La primera etapa, del 2004 al 2007 va establir el marc negociador del període post-Kyoto i va concloure a la COP 13, amb el Full de Ruta de Bali. La segona etapa, del 2007 al 2009, va consistir en un intens procés negociador destinat a produir un acord legalment vinculant a Copenhaguen el 2009. Aquesta etapa va concloure sense aconseguir els resultats esperats. La tercera etapa s'obre després de la «presa de nota» de l'Acord de Copenhaguen. Aquesta etapa és clarament diferent, tant en procés com en contingut, de l'etapa prèvia, però encara està per definir quins en seran els elements principals, els elements processals o quan i com conclourà.

13.3.1. 2004-2007 de Buenos Aires a Bali: negociant com negociar

Quan el 18 de novembre del 2004 Rússia va anunciar la ratificació del Protocol de Kyoto, assegurant-ne l'entrada en vigor el 16 de febrer del 2005,¹⁰¹ el focus de les negociacions internacionals va canviar. Si prèviament tota l'energia s'havia dedicat a aconseguir l'entrada en vigor del Protocol de Kyoto, un cop aconseguit aquest objectiu,

l'atenció es va dirigir cap al període Post-Kyoto, és a dir, el període de després del 2012, quan expira el primer període de compromís, i més enllà.

La primera etapa de les negociacions post-Kyoto es va dedicar gairebé exclusivament a estructurar les negociacions i incloure els aspectes rellevants a l'agenda de la COP i la COP/MOP. Vistes les postures polaritzades el 2004, amb els EUA fora del procés a tots els efectes i els països en desenvolupament oposant-se fermament a qualsevol menció de possibles compromisos per part seva, iniciar les negociacions post-Kyoto no era una tasca fàcil, fet que explica en part el transcurs de tres anys fins a aconseguir establir un procés negociador formal.

Les primeres discussions Post-Kyoto es van dur a terme de manera informal a la COP 10, a Buenos Aires, el desembre del 2004. Els principals punts contenciosos incloïen la participació dels EUA (que és membre del Conveni però no del Protocol) i la reluctància dels països en desenvolupament a participar en cap discussió que pogués començar un procés que eventualment desembocqués en requeriments de controls d'emissions, impediment que descartava l'establiment de qualsevol procés similar a l'AGBM. A més, la major part dels països en desenvolupament eren de l'opinió que els països desenvolupats havien de mostrar lideratge en canvi climàtic amb fets (reduccions d'emissions) abans d'iniciar cap discussió sobre accions dels països en desenvolupament. La COP 10 va acordar convocar un seminari informal d'experts el 2005, amb la condició de que no obriria cap negociació que tingués com a conseqüència nous compromisos.¹⁰²

Aquest seminari, anomenat *Seminari d'Experts Governamentals* (SOGÉ¹⁰³), es va celebrar els dies 16 i 17 de maig del 2005 a Bonn (Alemanya), tot just abans del SBSTA 22 i SBI 22. El mandat del SOGÉ era poc definit¹⁰⁴ i no hi va haver resultats

102. S. Aguilar et al., 2004.

103. Acrònim en anglès de *Seminar of Government Experts*.

104. Parlar del futur era tan polèmic que la COP 10, enlloc de donar mandat pel seminari mitjançant una decisió, com és habitual, va «fer notar» l'acord de realitzar un seminari mitjançant un Annex al resum de la sessió, FCCC/CP/2004/10, Annex II, pàgina 37, que va sortir publicat tot just un mes abans del seminari.

101. 90 dies després, Article 25 del Protocol de Kyoto.

formals. Tot i així, la major part dels països van coincidir en la utilitat del SOGE com a fòrum de discussió per intercanviar idees i entendre les posicions dels altres països.¹⁰⁵

A finals de l'any 2005, hi va haver la primera discussió formal sobre l'escenari post-Kyoto, en el context de la COP/MOP 1, a Mont-real (el Canadà). La COP/MOP estava obligada per l'article 3.9 del Protocol (vegeu la secció 13.2.2.2) a iniciar discussions sobre els compromisos dels països de l'Annex I més enllà del primer període de compromís. Les diferències sobre com interpretar l'article 3.9 van ser immediates. Els països desenvolupats defensaven una participació general en el segon període de compromís (és a dir, la participació dels països en desenvolupament) mentre que aquests últims recordaven que l'article 3.9 es refereix exclusivament a compromisos dels països de l'Annex I. Van sorgir tres propostes sobre com procedir: una del G-77/Xina, que plantejava la creació d'un grup *ad hoc* per considerar els compromisos futurs dels països de l'Annex I amb vistes a concloure el 2008; una de la Unió Europea, per vincular les discussions sobre l'article 3.9 amb les de l'article 9.2, que estableix que la primera revisió del Protocol es faria a la COP/MOP 2, i una del Japó, que suggeria una revisió del Conveni, per tal de construir un marc en què participin tots els països (és a dir, també els EUA).¹⁰⁶

Després d'intenses negociacions, la COP/MOP de Mont-real (el Canadà) va establir un nou òrgan subsidiari, l'AWG-KP (vegeu la secció 13.2.2.2), per discutir compromisos futurs per part dels països de l'Annex I, amb l'objectiu explícit d'evitar una discontinuïtat entre el primer i el segon període de compromís.¹⁰⁷ Dins el Conveni, la COP de Mont-real també va establir un procés conegut com el *Diàleg per Acció Cooperativa a Llarg Termini*, amb l'objectiu de considerar com redreçar el canvi climàtic mitjançant una implementació millor del Conveni. El Diàleg va prendre la forma de quatre tallers, i el resultat va ser presentat a la COP-13, a Bali. A Mont-real, Rússia va fer una proposta d'última hora per in-

cloure compromisos voluntaris que va resultar molt controvertida. Es va acordar reconsiderar la proposta russa a la COP següent.

En començar la COP 12 i la COP/MOP 2 el 2006, a Nairobi (Kenya), hi havia quatre vies negociadores obertes.¹⁰⁸ La primera, l'AWG-KP, la segona, el Diàleg, la tercera, la revisió del Protocol sobre la base de l'article 9.2 i la quarta, la proposta russa. La proposta russa va ser rebutjada de bon principi pels països en desenvolupament, per la qual cosa, de manera efectiva només van quedar tres vies negociadores obertes. La reunió de Nairobi va fer alguns avenços menors en les negociacions post-Kyoto, com ara acordar el programa de treball de l'AWG-KP. Però Nairobi es va centrar primordialment en aspectes d'adaptació, distribució equitativa dels projectes del Mecanisme de Desenvolupament Net i altres mesures destinades a incrementar la confiança entre els països en desenvolupament i els països desenvolupats.¹⁰⁹ La COP/MOP 2 també va decidir tancar la revisió del Protocol segons l'article 9.2,¹¹⁰ amb la qual cosa després de Nairobi tan sols quedaven dues vies obertes, el procés formal de l'AWG-KP i l'informal del Diàleg.

Entre la reunió de Nairobi del 2006 i la de Bali del 2007, tant el Diàleg com l'AWG-KP es van reunir en dues ocasions. L'AWG-KP va discutir, entre d'altres, les darreres troballes del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, mentre que el Diàleg va identificar quatre blocs sobre els quals calia treballar per construir un acord post-Kyoto: mitigació, adaptació, tecnologia i finançament.¹¹¹

Mentre el procés del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic seguia el seu curs, el canvi climàtic anava guanyant pes en l'opinió pública internacional i en l'agenda dels polítics. A Europa, l'entrada en vigor del Sistema Europeu de Comerç d'Emissions va donar un clar exemple al públic i al sector privat dels impactes concrets de les mesures de mitigació. Als EUA, la pel·lícula d'Al Gore *Una Veritat Incòmoda* va guanyar un Òscar, i la rellevància política del

105. K. Kulovesi, et al., 2005.

106. S. Aguilar et al., 2005.

107. Decisió 1/CMP.1, paràgraf 3.

108. S. Carter et al., 2006.

109. K. Kulovesi et al., (2007).

110. Decisió 7/CMP.2.

111. S. Carter et al., 2007.

canvi climàtic creixia a nivell local i estatal. Catàstrofes com l'huracà Katrina, les inundacions o les onades de calor europees i d'arreu van servir d'exemple dels potencials impactes negatius del canvi climàtic. A nivell internacional, ja s'han mencionat les activitats de les Nacions Unides, del G-8 o de la Reunió dels Grans Emissors (vegeu la secció 13.2.4). L'informe Stern¹¹² i, més significativament, el Quart Informe d'Avaluació del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, van evidenciar encara més les causes, costos i conseqüències del canvi climàtic. Tant Al Gore com el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic van rebre el premi Nobel de la Pau del 2007 pels «seus esforços per generar i disseminar coneixement sobre el canvi climàtic causat pels humans, i per establir els fonaments per a les mesures necessàries per contrarestar aquest canvi».¹¹³ Molts d'aquests esdeveniments (com ara el premi Nobel o el Quart Informe d'Avaluació) van succeir en una seqüència temporal propícia per arribar a la cimera de Bali amb un màxim ímpetu polític.

13.3.2. La cimera de Bali 2007

La reunió de Bali va generar grans expectatives, alimentades pel esdeveniments tot just esmentats i una gran activitat mediàtica. La clau, a Bali, un cop acabat el Diàleg, era establir un procés formal per arribar a un acord post-Kyoto. Les negociacions es van centrar en els quatre blocs (mitigació, adaptació, tecnologia i finançament) i van desembocar en el Pla d'Acció de Bali. El seu principal element era l'establiment d'un òrgan subsidiari, l'AWG-LCA (vegeu la secció 13.2.2.2), amb l'objectiu de negociar un ampli ventall d'aspectes, basats en els quatre blocs, i arribar a un acord comprensiu el 2009 a Copenhaguen.

Els punts claus del Pla d'Acció de Bali eren: 1) per primera vegada en la història del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic es parlava de mesures de mitigació per part dels països en desenvolupament; 2) es permetien accions no vinculants per als països desenvolupats,¹¹⁴ cosa que, entre d'altres, obria la porta a

un compromís dels EUA, i 3) les accions dels països en desenvolupament eren contingents a una ajuda mesurable, notificable i verificable. Les paraules *mesurable*, *notificable* i *verificable*,¹¹⁵ per construcció semàntica, no era clar si s'aplicaven tan sols a l'ajuda als països en desenvolupament o també a les seves accions. Sud-àfrica va aclarir aquest aspecte en la darrera sessió plenària a Bali, confirmant que s'aplicava a tots dos, cosa que va eliminar l'oposició dels EUA i va desbloquejar l'acord final.¹¹⁶ Un aspecte notable del Pla d'Acció de Bali era que s'abandonava el vocabulari de països de l'Annex I i no-Annex I, en favor dels termes països desenvolupats i països en desenvolupament. Com que el Pla d'Acció de Bali no defineix el terme *desenvolupat* o *en desenvolupament*, això permetia un acord més flexible i progressiu en l'eventual acord post-Kyoto.

Sortint de Bali, el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic disposava d'un procés formal per discutir tots els aspectes del període post-Kyoto. Aquest procés possiblement no era el més efectiu, ja que comptava amb dos òrgans subsidiaris independents, però intrínscament relacionats: l'AWG-KP i l'AWG-LCA. Tanmateix, aquest procés era el compromís que s'havia aconseguit consensuar després de tres anys de negociacions, i malgrat les mancances, representava un gran avenç respecte del 2004, quan no es podia ni tan sols mencionar la paraula «futur» en el context de les negociacions del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic.

13.3.3. De Bali a Copenhaguen

Els 24 mesos entre les cimeres de Bali i Copenhaguen van ser, probablement, el període de negociació més intens de la història del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. L'AWG-KP i l'AWG-LCA es van reunir en un total de deu ocasions (recordem que sempre es reuneixen en paral·lel), incloent-hi set reunions

112. N. Stern *et al.*, 2006.

113. nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/2007/.

114. Narain 2008.

115. Referides sota la Sigla MRV, per *Measurable, Reportable and Verifiable*.

116. Müller (2008), 2-6. L'aclariment de Sud-àfrica és el que va desbloquejar l'acord, i no les sentides paraules del representant de Papua Nova Guinea, de les quals es va fer ressò la premsa internacional.

exclusives, dues de conjuntes amb les reunions ordinàries dels SBSTA i SBI i una dins la COP 14 i la COP/MOP 4 a Poznan (Polònia). L'AWG-KP i l'AWG-LCA van sumar més de 80 dies de negociació, dels 750 disponibles entre el final de la COP 13 i el final de la COP 15. Aquestes xifres no compten les reunions «fora» del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. Tan sols el 2009, aquestes van incloure una reunió del G-8, unes quantes trobades del Fòrum de les Grans Economies, una reunió del G-20 i una cimera de caps d'Estat sobre el canvi climàtic a les Nacions Unides a Nova York.

Aquest ritme frenètic, tot i que no sense precedent,¹¹⁷ va ser excepcional per l'afegit de la complexitat de les negociacions, dividides en dos processos formalment separats però intrínscament interconnectats, així com la inèdita quantitat d'aspectes sota negociació, tant de caire fonamental com tècnic. En certa manera, era com si cada punt que s'havia negociat en els disset anys d'història del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic es reobris a la negociació. Tot seguit es descriuen els principals aspectes de la negociació sobre mitigació, adaptació i finançament i procés. Cal remarcar, però, que sobre qualsevol d'aquests temes hi ha prou literatura publicada per omplir uns quants capítols. Així, doncs, l'objectiu de les següents planes és tan sols donar una idea al lector de per on anaven les negociacions, sense entrar en la substància o analitzar cap dels aspectes mencionats.

13.3.3.1. Mitigació

La mitigació era sens dubte l'element estrella de les negociacions durant aquest període, tant per part dels països desenvolupats com dels països en desenvolupament. Concretament, el text rellevant¹¹⁸ encarrega la tasca a l'AWG-LCA de dis-

Països desenvolupats: compromisos o accions de mitigació mesurables, notificables i verificables adequats a cada país, inclosos objectius quantificats de limitació i reducció de les emis-

sions, per totes les Parts que són països desenvolupats, assegurant la *comparabilitat dels esforços* entre si i tenint en compte les diferències en les circumstàncies nacionals.

Països en desenvolupament: accions de mitigació adequades a cada país per les Parts que són països en desenvolupament, en el context del desenvolupament sostenible, recolzades i facilitades per tecnologies, finançament i activitats de capacitat, de manera mesurable, notificable i verificable.

Mitigació als països desenvolupats

Un dels principals problemes en la negociació dels compromisos de mitigació per part dels països desenvolupats, formalment sota l'AWG-KP, era l'absència dels EUA, que no és membre del Protocol de Kyoto i per tant, només podia participar en l'AWG-KP com a observador.¹¹⁹ Molts països desenvolupats sostenien que sense compromisos per part dels EUA (i dels principals països en desenvolupament) no es podien establir compromisos, i que per tant calia un acord post-Kyoto comprensiu (és a dir, incloent-hi els EUA i els països en desenvolupament). Els països en desenvolupament, pel contrari, defensaven que sense un lideratge amb fets per part dels països desenvolupats no es podia esperar compromisos de mitigació per part seva, i eren proponents d'establir compromisos per als països desenvolupats dins l'AWG-KP abans de comprometre's ells mateixos dins l'AWG-LCA.

Un altre aspecte contenciós era com determinar els compromisos agregats dels països de l'Annex I. Una opció, preferida pels països en desenvolupament, consistia en determinar primer un objectiu d'estabilització i una trajectòria de reducció d'emissions, que després es distribuïria entre els països de l'Annex I. En la segona opció, preferida pels països desenvolupats, el compromís agregat es determinaria a partir dels compromisos individuals de cada país.

Sota l'AWG-LCA, un dels punts controvertits derivava de la terminologia *esforços comparables*. Aquest terme, destinat a acomodar els EUA, va provocar discussions sobre si calia

117. Les negociacions prèvies al Protocol de Kyoto dins l'AGBM van seguir un calendari similar.

118. Decisió 1/CP.13, paràgrafs 1.b(i) i 1.b(ii).

119. Article 13, Protocol de Kyoto, que també s'aplica als òrgans subsidiaris del Protocol.

establir criteris de comparabilitat, i quins tipus de criteris.

Mitigació als països en desenvolupament

Les accions de mitigació adequades a cada país (NAMA¹²⁰) esmentades en el Pla d'Acció de Bali van centrar les discussions de mitigació per als països en desenvolupament, incloent-hi la definició, l'estatus vinculant o voluntari i la *mesurabilitat*, *reportabilitat* i *verificabilitat*, tant de les accions dels països en desenvolupament com del suport dels països desenvolupats.

Un altre aspecte sota negociació i molt contenciós era la possible gradació dels països en desenvolupament segons el grau de desenvolupament de cadascun. Aquesta gradació era defensada pels països desenvolupats, mentre que els països en desenvolupament hi van presentar una oposició ferma.

REDD+ (boscós)

El paràgraf 1(b)(iii) del Pla d'Acció de Bali es refereix a les polítiques i mesures de mitigació relatives a la reducció de les emissions per desforestació i degradació forestal, conegudes com a REDD+. ¹²¹ El Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic va estimar que el 2004 REDD+ comprenia més del 17% de les emissions totals de gasos amb efecte d'hivernacle, ¹²² tot i que aquestes xifres actualment es consideren a l'entorn del 12%. ¹²³

El principal objecte de les negociacions sobre REDD+ era l'establiment d'un mecanisme internacional per adreçar REDD+ (i de passada el problema fins ara intractable a nivell internacional de la desforestació i la degradació forestal). Els punts a resoldre incloïen el finançament, mitjançant fons públics, mercats de carboni o una combinació d'ambdós, la consideració de les activitats de REDD+ com a NAMA o no i aspectes com ara la governança dels boscos, la preservació ecològica i la gestió sostenible.

Altres aspectes de la mitigació

L'objectiu últim del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic és:

l'estabilització de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera a un nivell que impedeixi interferències antropogèniques perilloses en el sistema climàtic. ¹²⁴

Què és 'perillós' no està definit. Una proposta, abonada entre altres per la Unió Europea i el G-8, era limitar l'escalfament a 2 °C. Grups com AOSIS s'hi oposaven, dient que 2 °C d'escalfament global suposaria la desaparició d'alguns estats insulars. ¹²⁵

Entre les negociacions de caire tècnic, van destacar les relacionades amb els gasos amb efecte d'hivernacle, particularment si incloure o no nous gasos ¹²⁶ en un futur acord de reducció d'emissions, així com quines equivalències utilitzar entre ells. ¹²⁷

13.3.3.2. Adaptació i finançament

Un dels problemes fonamentals de les negociacions sobre adaptació és l'impossibilitat de distingir, en termes pràctics, entre les activitats d'adaptació i les activitats de desenvolupament. De fet, hi ha qui defineix l'adaptació com desenvolupament en condicions més adverses. Atès aquest context, les negociacions d'adaptació es basen principalment en l'ajuda financera, tècnica i de capacitació als països en desenvolupament.

La Secretaria ha estimat que les despeses d'adaptació seran de l'ordre dels centenars de milers de milions de dòlars anuals el 2030, ¹²⁸ tot i

120. Sigla de *Nationally Appropriate Mitigation Actions*.

121. Sigla de *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*.

122. IPCC (2007) Informe de Síntesi, Figura 2.1.

123. G. R. van der Werf1, et al., (2009).

124. Article 2, Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic.

125. Les trajectòries d'emissions a finals del 2009 comporten un escalfament global per sobre dels 3 °C.

126. Vegeu la nota 7, p. 512.

127. Les equivalències entre diferents gasos amb efecte d'hivernacle es determinen mitjançant els potencials d'escalfament global, establerts pel Grup Intergovernamental d'Experts del Canvi Climàtic (Article 5.3 Protocol de Kyoto). Les equivalències varien segons l'horitzó temporal que es consideri, i hi ha propostes per negociar metodologies alternatives.

128. FCCC/TP/2008/7.

que altres fonts creuen que aquestes xifres estan subestimades.¹²⁹ En tot cas, són xifres molt elevades. Les negociacions de finançament intentaven resoldre aspectes com la magnitud dels fons, l'origen (públic o mecanismes de mercat), els sistemes de governança i desemborsament, i les activitats i programes elegibles per recolzament financer.

Una proposta específica que va generar força atenció era la possibilitat d'emprar mecanismes d'assegurança per transferir fons financers dels països desenvolupats als països en desenvolupament (o transferir risc en sentit invers). Aquests mecanismes estarien lligats a estratègies de reducció de desastres.

13.3.3.3. Procés

Tot i que Bali i Mont-real van establir un mandat negociador per l'AWG-LCA i l'AWG-KP respectivament, les qüestions de procés van centrar les negociacions durant el període 2007-2009.

La qüestió més contenciosa era la (no) relació entre l'AWG-LCA i l'AWG-KP, amb crides específiques i oposades en cada reunió per unir o mantenir separades les negociacions dels dos òrgans subsidiaris.

L'altra qüestió més problemàtica era el format legal d'un possible acord vinculant post-Kyoto. Les opcions discutides consistien en un nou protocol que inclogués els resultats de l'AWG-KP i l'AWG-LCA, un protocol que inclogués els resultats de l'AWG-LCA i una esmena al Protocol de Kyoto que inclogués els resultats de l'AWG-KP, o una esmena al Protocol de Kyoto més un paquet de decisions de la COP que recollissin les conclusions de l'AWG-LCA.¹³⁰

Cal recordar que el Protocol de Kyoto no té data d'expiració. L'únic que expira el 2012 és el primer període de compromís, però totes les altres clàusules continuen actives. En cas de fer un altre protocol, caldria determinar què passa amb el Protocol de Kyoto. A més a més, no és clar que es poguessin transferir acords polítics tan delicats com els Acords de Marràqueix a un nou protocol sense reobrir les negociacions.

13.3.4. La cimera de Copenhaguen 2009

La cimera de Copenhaguen va ser per moltes raons una cimera històrica, de la qual s'ha escrit i s'escriurà amb gran detall durant molt de temps.¹³¹ Copenhaguen s'ha d'entendre com a tres reunions diferents juxtaposades. Una reunió, les negociacions oficials, comprenia les sessions de la COP 15, la COP/MOP 5, el SBSTA 31, el SBI 31, l'AWG-KP 10 i l'AWG-LCA 8. Una altra, la cimera Mundial, va tenir la presència d'uns 130 caps d'Estat, el major nombre de caps d'Estat mai reunits fora d'una seu de les Nacions Unides. La tercera reunió, i la *fira* del canvi climàtic, comprenia tots els elements de la societat civil, acadèmics i governamentals que es donen trobada durant una COP i que, tot i no estar directament relacionats amb les negociacions, hi participen, perquè la COP és el punt de trobada dels actors rellevants en canvi climàtic. Amb 47.000 participants, la cimera de Copenhaguen és la cimera mediambiental més gran de la història, amb més participants que la cimera de la Terra de Rio de Janeiro el 1992 o que la cimera per al Desenvolupament Sostenible de Johannesburg, el 2002.

Copenhaguen va ser una cimera històrica a molts nivells: en termes d'expectatives, de participació, de procés, de nivell polític i de decepció amb els resultats. Els adjectius que probablement millor descriuen Copenhaguen són *confusió* i *inconclusiu*. Confusió processal i logística; resultats inconclusius. A causa del poc temps transcorregut entre la conclusió de Copenhaguen i la finalització d'aquest capítol i de la inconclusivitat dels resultats de la cimera, que amb tota probabilitat seran definits a posteriori, no es pretén fer una anàlisi detallada dels resultats i conseqüències de la cimera, que estaria condemnada a la ràpida obsolescència causada pels esdeveniments del 2010.

Formalment, Copenhaguen va desembocar en la «presa de nota» de l'Acord de Copenhaguen, un document elaborat directament pels principals líders mundials a porta tancada. La negociació directa per part de presidents i primers

129. Parry et al., 2009.

130. Kulovesi i Gutiérrez, 2009.

131. Vegeu, per exemple, Akanle et al., 2009; Athanasiou, 2010; Drexhage i Murphy, 2010; Müller, 2001; Rajamani, 2010; Roberts, Stadelmann i Huq, 2010; Stavins, 2009.

ministres és una situació inèdita en l'àmbit de les negociacions internacionals multilaterals. El procediment habitual consisteix en què els diplomàtics negociïn els acords i els caps d'Estat els signin. Els principals punts de l'Acord de Copenhaguen són: finançament per als països en desenvolupament de 30.000 milions de dòlars durant el període 2012-2015, i de 100.000 milions de dòlars a l'any a partir del 2020; un objectiu d'escalfament de com a màxim 2 °C; una estratègia basada en compromisos voluntaris per part dels països tant desenvolupats com en desenvolupament, i l'establiment d'òrgans de tecnologia, finançament i REDD+. L'Acord de Copenhaguen, però, no és vinculant, ja que no es va adoptar, tan sols se'n va prendre nota. *Prendre nota* no té cap valor jurídic en l'àmbit de les Nacions Unides. L'Acord de Copenhaguen es pot descriure com a acord purament polític, ja que, a més de no ser jurídicament vinculant, no conté detalls sobre com implementar les mesures que proposa, amb la qual cosa, tot i que s'hagués acordat per la COP, no és directament accionable.

Com ja s'ha dit, de Copenhaguen se n'ha parlat i se'n parlarà molt. Una de les principals preguntes és: Copenhaguen va ser un fracàs, un èxit o ni l'una cosa ni l'altra? La resposta a aquesta pregunta depèn en gran part dels objectius i expectatives previs, així com de les possibilitats d'avançar l'agenda pròpia segons la interpretació que es faci dels resultats. Per exemple, resulta evident que els objectius i lectura dels resultats eren força diferents per participants com ara Greenpeace, José Montilla, la Xarxa del Tercer Món, l'Organització Marítima Internacional, la Universitat Politècnica de Catalunya, Hugo Chávez, la Confederació de la Indústria Índia, Barack Obama o el Ministeri de Comerç de la Xina.

Formalment, l'objectiu de Copenhaguen, entès com a COP 15, estava descrit pel Pla d'Acció de Bali i consistia a «assolir un resultat acordat i prendre una decisió» per tal de «permetre l'execució plena, efectiva i sostinguda del Conveni mitjançant acció cooperativa a llarg termini actualment, fins al 2012 i més enllà».¹³² Copenhaguen no va assolir aquest objectiu i no va

resoldre cap dels aspectes en negociació durant el període 2007-2009. La COP 15 i la COP/MOP 5 van allargar els mandats respectius de l'AWG-LCA i l'AWG-KP fins a la COP-16, tot i que no van donar detalls sobre el pla de treball o calendari de trobades. Des d'un punt de vista estrictament formal, la COP 16 gaudeix del mateix mandat i possibilitats que la COP 15 d'arribar a un acord.

Molts actors, sobretot països europeus, i gran part dels mitjans de comunicació i organitzacions no governamentals occidentals, tenien com a objectiu a Copenhaguen l'assoliment d'un tractat legalment vinculant amb objectius de reduccions d'emissions, a l'estil del Protocol de Kyoto, per als països desenvolupats, i un ventall de compromisos per als països en desenvolupament. Per aquests actors, Copenhaguen va ser un fracàs estrepitos. D'altres, tant països com organitzacions, tenien objectius específics en temes com ara emissions forestals, mercats de carboni, agricultura, finançament, transport, i un llarg etcètera, així com objectius no relacionats amb el canvi climàtic, com ara augmentar el seu poder, aconseguir tractats bilaterals o guanyar la batalla mediàtica amb el país o organització rival. Per a molts països, inclosos l'amfitrió, Dinamarca, i els EUA, Copenhaguen tenia un component molt rellevant de política domèstica. Per a d'altres, inclosos la Xina, el Brasil i Sud-àfrica, Copenhaguen va servir per demostrar el poder creixent que tenen en l'arena internacional.

Copenhaguen va crear guanyadors (pocs) i perdedors (molts). El clima, a curt termini, es troba entre els darrers. I a llarg termini, això encara s'ha de veure.

13.3.5. Més enllà de Copenhaguen

Ningú no sap amb certesa quin camí prendran les negociacions internacionals sobre el canvi climàtic. Copenhaguen va tancar en fals, de manera inconclusiva, i les conseqüències tant en el procés com en el contingut de les negociacions encara estan per determinar. Un petit exercici de prospectiva, però, pot resultar il·lustratiu. A continuació es presenten tres escenaris plausibles per al futur de les negociacions, així com un seguit d'aspectes clau que caldrà resoldre en qualsevol acord futur.

132. Decisió 1/CP.13.

13.3.5.1. Escenaris de negociació

Escenari de negociacions com sempre

En aquest escenari, el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic continua sent el fòrum principal de negociació sobre el canvi climàtic. Els problemes processals causats per la confusió de Copenhaguen es resolen durant l'any 2010. Això és plausible perquè històricament la Secretaria i el Buró del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic han estat molt enginyosos resolent problemes de procediment aparentment irresolubles.

En aquest escenari, l'Acord de Copenhaguen, juntament amb el Pla d'Acció de Bali, serveixen de base perquè els països membres continuïn buscant un acord post-Kyoto legalment vinculant. Aquest acord s'assoleix a la COP 16 de Mèxic (2010), la COP 17 de l'Àfrica (2011), o la COP 18 de Àsia (2012), cosa que evita una discontinuïtat després del primer període de compromís.¹³³

Escenari de pèrdua de monopoli

En aquest escenari, el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic perd rellevància i també el monopoli de les negociacions, a causa del bloqueig institucional evidenciat a Copenhaguen. Emergeixen fòrums alternatius com el G-20 o el Fòrum de les Grans Economies, on un grup reduït de països pren les decisions rellevants.

Aquest escenari, defensat per acadèmics com R. Stavins o D. Victor, i perseguit per països com els EUA, s'enfronta amb el problema que al G-77 /Xina li agrada negociar sota el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, ja que el Conveni reflecteix entre d'altres el principi de les responsabilitats compartides, però diferenciades. A més a més, tant la Xina com l'Índia han expressat el desacord a negociar en petit grup, ja que això els afectaria la posició respecte de la resta de països en desenvolupament en altres processos (com ara el comerç internacional). Aquesta situació, però, pot canviar ràpidament si els grans països en desenvolupament

determinen que els beneficis d'un acord en petit grup superen els inconvenients.

Escenari de fallida i fragmentació

En aquest escenari, els països no aconsegueixen un acord vinculant post-Kyoto en els propers anys. La manca d'acord causa l'abandonament progressiu o abrupte de les negociacions internacionals sobre el canvi climàtic, i els països prenen accions unilaterals o en petits grups.

En aquest escenari, l'acció concertada global esdevé impossible. Sense acció concertada, la major part dels països centren les accions en l'adaptació als impactes del canvi climàtic, i el problema del canvi climàtic s'accelera i s'intensifica.

Aspectes clau

Per tal d'aconseguir un acord post-Kyoto efectiu i legalment vinculant, cal que la comunitat internacional resolgui un seguit d'aspectes clau, alguns dels quals es detallen tot seguit.

Finançament

Resulta evident que no hi haurà cap acord sense transferències importants de fons dels països desenvolupats als països en desenvolupament. La magnitud de la transferència està per determinar, però és molt probable que com a mínim sigui de l'ordre dels 100.000 milions de dòlars anuals reflectits en l'Acord de Copenhaguen. Els acords de finançament hauran de resoldre no tan sols la quantitat dels fons disponibles, ans també la provenença, l'administració, la distribució i els usos previstos d'aquests fons.

Format legal

El format legal del futur acord haurà de resoldre la relació amb el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic i amb el Protocol de Kyoto. Altres aspectes legals a resoldre són un marc de compliment, verificació i sancions. Aquestes últimes poden ser molt complexes i difícils d'acordar, particularment si es lliguen al règim de comerç internacional.

Combustibles fòssils

Per tal de ser efectiu, qualsevol futur acord haurà de redreçar el problema de les emissions degudes a l'ús dels combustibles fòssils, que són el princi-

133. Si es té en compte el temps necessari per a la ratificació, és imprescindible un nou acord el 2010 per evitar una discontinuïtat real.

pal responsable del canvi climàtic. Històricament, el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic ha posat molta atenció i emprat molt esforç a resoldre temes menys rellevants a nivell d'emissions com els embornals, LULUCF, REDD+, o el Mecanisme de Desenvolupament Net, mentre que l'energia ha estat el gran tema tabú, cosa que es deu a l'oposició de l'OPEP. L'OPEP, principalment a través de les molt hàbils negociacions d'Àrabia Saudita, ha estat capaç d'explotar la regla de consens per bloquejar qualsevol mesura que afecti directament els combustibles fòssils. Aquesta situació haurà de canviar en qualsevol acord post-Kyoto que vulgui ser efectiu.

Mercats de carboni

Els mercats de carboni han estat durant més d'una dècada l'eina preferida per assolir reduccions d'emissions. És molt probable que els mercats de carboni continuïn jugant un paper important en el futur. No obstant això, un acord Post-Kyoto haurà de decidir si els mercats de carboni són el principal instrument per assolir les reduccions d'emissions necessàries, o tan sols un instrument auxiliar per millorar l'eficiència d'altres mesures.

Adaptació

El canvi climàtic ja és una realitat. En conseqüència, un cert grau d'adaptació serà necessari. Quin grau dependrà de com d'intens esdevingui el canvi climàtic abans que l'acció concertada internacional l'aconsegueixi mitigar (si ho aconseguix).

Una de les principals decisions d'un futur acord serà incloure o no mesures de suport financer i d'altres tipus, per l'adaptació dels països més pobres. En un acord post-Kyoto dins el Conveni (escenari negociacions com sempre) l'ajuda a l'adaptació queda fora de dubte, ja que es troba establerta en el text del Conveni. En d'altres escenaris, però, amb un acord post-Kyoto fora del Conveni, aquesta ajuda no està garantida. Tot i que els països més pobres patiran els majors impactes del canvi climàtic i són els que necessiten més ajuda, també són els països que menys emeten i menys poden fer per evitar el canvi climàtic. En un acord de mitigació entre els

principals països emissors, els països més pobres tenen molt poc a oferir, i per tant molt poc poder negociador més enllà del que atorga el deute moral. Aquest és un dels motius pel qual el G-77/Xina prefereix negociar dins el Conveni.

13.4. Conclusions

Han passat vint anys des de l'inici de les negociacions internacionals sobre el canvi climàtic. Aquest és un període llarg, però el progrés que s'ha realitzat és immens. De ser un problema ambiental que només preocupava a uns quants, el canvi climàtic ha passat a ser una problema econòmic i estratègic global.

La lentitud de les negociacions pot semblar (i probablement és) inapropiada, sobretot atesa la urgència del problema. Cal fer esment en aquesta urgència. Segons el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, si no es comencen a reduir les emissions globals abans del 2020, el planeta es trobarà en una trajectòria d'escalfament de 3 °C o més. No obstant això, els processos internacionals avancen, si bé lentament, cada cop més ràpid. Posat en perspectiva amb altres processos globals, com ara la lluita pels drets humans o la liberalització del comerç internacional, la resposta internacional al canvi climàtic és un procés «ràpid». Si és prou ràpid per evitar un escalfament «perillós», encara està per veure.

En qualsevol cas, el canvi climàtic és un problema a llarg termini, que probablement durarà segles. El procés internacional per combatre'l durarà tant com duri el problema. Un acord post-Kyoto comprensiu i efectiu no és el final del procés, ans el principi. Aquest acord, si s'aconsegueix, establiria els fonaments per a la resposta global al canvi climàtic. Un cop establerts els fonaments, començaria la tasca vertadera: descarbonitzar l'economia mundial tot i assolir el desenvolupament sostenible a nivell global. Així doncs, malgrat els vint anys de negociacions, es pot dir que el procés es troba tot just en la infantesa.

13.4.1. Conclusions per a Catalunya

En l'estructura vigent de les negociacions internacionals del canvi climàtic no hi ha lloc per a la participació efectiva d'entitats subestatals com

Catalunya, més enllà de la participació com a observadors i la facilitació de les negociacions, com en el cas de la reunió de Barcelona del novembre del 2009. És de preveure que l'estructura basada en les nacions-estat es mantingui en les negociacions i en els processos internacionals per combatre el canvi climàtic.

Els impactes del canvi climàtic a Catalunya i les opcions de mitigació i adaptació dels diferents sectors catalans formen el gruix d'aquest informe i s'analitzen exhaustivament en d'altres capítols. Així, doncs, la pregunta a respondre, seguint la temàtica d'aquest capítol, és: quines són les principals conclusions per a Catalunya de les negociacions internacionals sobre el canvi climàtic?

La principal conclusió és que, tot i que Catalunya no té un paper formal en les negociacions internacionals, res no impedeix que hi assoleixi un paper de lideratge, mitjançant l'exemple i la innovació, a nivell polític, econòmic, regulatori, de recerca i d'implementació. En cadascuna d'aquestes àrees, Catalunya té la capacitat, l'interès propi i l'imperatiu moral de marcar la diferència.

Referències

- AGUILAR, S. [et al.] (2005). «Summary of COP11 and COP/MOP1», *Earth Negotiations Bulletin*, 12, p. 291, 12 desembre 2005.
- (2004). «A Brief Analysis of COP 10», *Earth Negotiations Bulletin*, 12, p. 260, 20 desembre 2004.
- AKANLE, T. [et al.] (2009). «Summary of the Copenhagen Climate Change Conference», *Earth Negotiations Bulletin*, 12, p. 459, 22 desembre 2009.
- ANDREWS, P.; KARAISS, M. (eds.) (2010). «Copenhagen De-briefing, an analysis of COP-15 for long-term cooperation», *Climatico* <www.climaticoanalysis.org>
- APPLETON [et al.] (2007). «Summary of COP 13 and COP/MOP 3», *Earth Negotiations Bulletin*, 12, p. 354, 18 desembre 2007.
- ATHANASIOU, Tom. (2010). «After Copenhagen», *EcoEquity*, 19 febrer 2010.
- BUSCH, Per-Olof. (2009). «The Climate Secretariat: Making a living in a straight jacket», A: BIERMANN, Frank; SIEBENHÜNER, Bernd (eds.) *Managers of Global Change, the influence of international environmental bureaucracies*; Cambridge: MIT Press, cap. 10.
- CARTER, S. [et al.] (2008). «Summary of the First Session of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action and the Fifth Session of the Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol», *Earth Negotiations Bulletin*, 12, p. 362, 7 abril 2008.
- (2007). «Summary of the fourth sessions of Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol and Convention Dialogue», *Earth Negotiations Bulletin*, 12:339, 3 setembre 2007.
- (2006). «Summary of COP 12 and COP/MOP 2», *Earth Negotiations Bulletin*, 12, p. 318, 20 novembre 2006.
- CONSELL EUROPEU (2002). 2002/358/EC Council Decision of 25 April 2002 concerning the approval, on behalf of the European Community, of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change and the joint fulfilment of commitments thereunder.
- DEPLEDGE, J. (2008). «Crafting the Copenhagen Consensus», *Review of European Community and International Environmental Law* (RECIEL) 17, p. 2.
- DIMITROV [et al.] (2007). «Summary of the 27th Session of the Intergovernmental Panel on Climate Change», *Earth Negotiations Bulletin*, Vol. 12 No. 342, 19 novembre 2007.
- DREXHAGE, J.; MURPHY, D. (2010). *Copenhagen: A Memorable Time for All the Wrong Reasons?* Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.
- DODDS, Felix; SHERMAN, Richard (2009). «A multilateral System for Climate and Energy Security: What roles for Existing Institutions?». A: DODDS, Felix; HIGHAM, Andrew; SHERMAN, Richard (eds). *Climate Change and Energy Insecurity, the challenge for peace, security and development*; Earthscan.
- GLENEAGLES-DIALOGUE (2008). «Chair's Conclusions». *Gleneagles-Dialogue on Climate Change, Clean Energy and Sustainable Development, 4th Ministerial Meeting, Chiba, Japan 14-16 March, 2008*.
- GRUBB, Michael; VROLIJK, Christiaan; BRACK, Duncan (1999). *The Kyoto Protocol: A Guide and Assessment*. The Royal Institute of International Affairs, U.K.
- IPCC (2010). Nota de premsa, 10 març 2010.
- (2007). *IV Informe d'Avaluació de l'IPCC. Base científica, impactes, adaptació i mitigació*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, CADS. (Documents internacionals, 17).

- (2007). *Canvi climàtic 2007: Informe de síntesi. Resum per a responsables de polítiques*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, CADS. (Documents internacionals, 18).
- (2001). *First Assessment Report*.
- IPCC WG II (2007). «Summary for Policymakers». A: *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- JINNAH, Sikina; BUSHEY, Douglas; MUÑOZ, Miquel; KULOVESI, Kati (2009). «Tripping points: barriers and bargaining chips on the road to Copenhagen». *Environ. Res. Lett.* 4. DOI 10.1088/1748-9326/4/3/034003.
- KULOVESI, K. (2006). «How to Prevent Babies from Being Thrown Away with the Bathwater: the Future of the Climate Regime from Buenos Aires to the Future». A: *The Future of Environmental Law: International and European Perspectives*. European University Institute.
- KULOVESI, K. [et al.] (2005). «Summary of the UNFCCC Seminar of Governmental Experts». *Earth Negotiations Bulletin*, 12, p. 26119, maig 2005.
- KULOVESI, K.; GUTIÉRREZ, M. (2009). «Climate Change Negotiations Update: Process and Prospects for a Copenhagen Agreed Outcome in December 2009». *RECIEL* 18(3) 2009, p. 231.
- KULOVESI, K.; GUTIÉRREZ, M.; DORAN, P.; MUÑOZ, M. (2007). «UN 2006 Climate Change Conference: a confidence building step?» *Climate Policy* 7, p. 255-261.
- LLEBOT, J.E. [ed.] (2005). *Informe Sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible.
- MÜLLER, B. (2010). *Copenhagen 2009: Failure or final wake-up call for our leaders?*, Oxford Institute for Energy Studies.
- (2008). «Bali 2007: on the road again!» *Oxford Energy Forum*, 20th january 2008. <www.oxfordclimatepolicy.org/publications/Bali2007Final.pdf>
- MUÑOZ, Miquel (2009). «La cumbre de Copenhagen». *Vanguardia Dossier* 21, p 20-29.
- (2008). «Cambio Climático y la cumbre de Bali». *Ecología Política* 35, p. 19-21, juliol 2008.
- (2003). «New Delhi to Milan: Will this year's climate change conference be different?» *Down to Earth* 2003, 12, p. 53. New Delhi.
- MUÑOZ, Miquel; THRASHER, Rachel; NAJAM, Adil (2009). «Measuring the Negotiation Burden of Multilateral Environmental Agreements». *Global Environmental Politics* 9:4, p. 1-13.
- NACIONES UNIDAS (1998). T/LIB/SER.B/5/Rev.5, *United Nations Document Series Symbols 1946-1996*. Nova York: ONU.
- (1997). ST/AI/189/Add.3/Rev.2, *Regulations for the Control and Limitation of Documentation: Addendum, Distribution of documents, meeting records, official records and publications*, Nova York: ONU.
- (1990). A/RES/45/212, *Protection of global climate for present and future generations of mankind*, 21 desembre 1990.
- NARAIN, S. (2008). «Bali: the mother of all no-deals». *Climate Justice*, 18 gener 2008. <<http://itsgettinghotinhere.org/2008/01/18/bali-the-mother-of-all-no-deals>>
- PARRY [et al.] (2009). *Assessing the costs of adaptation to climate change A review of the UNFCCC and other recent estimates*. Londres: International Institute for Environment and Development (IIED).
- RAJAMANI, Lavanya (2010). *Neither fish nor fow*. Seminar 606. India: Center for Policy Research.
- ROBERTS, Timmons; STADELMANN, Martin; HUQ, Saleemul (2010). *Copenhagen's climate finance promise: six key questions*. Londres: International Institute for Environment and Development (IIED).
- SANDS, P. (2005). *Lawless World. America and the Making and Breaking of Global Rules*. Penguin Books.
- SPENCE, Chris (2009). «Who Decides? The Role of the United Nations Security Council in Addressing Climate Change and Energy Insecurity». A: DODDS, Felix; HIGHAM, Andrew; SHERMAN, Richard (eds). *Climate Change and Energy Insecurity, the challenge for peace, security and development*. Regne Unit: Earthscan.
- SPENCE, Chris; KULOVESI, Kati; GUTIÉRREZ, Maria; MUÑOZ, Miquel (2008). «Great expectations: understanding Bali and the climate change negotiations process». *Review of European Community and International Environmental Law – RECIEL* Vol. 17, Issue 2.
- STAVINS, Robert (2009). *What Hath Copenhagen Wrought? A Preliminary Assessment of the Copenhagen Accord*. Belfer Center, Harvard University, 20 desembre 2009.
- STERN, Nicholas [et al.] (2006). *Stern Review: The Economics of Climate Change*. Londres: HM Treasury. <http://www.hmtreasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm>

- UNFCCC (2009). FCCC/CP/2009/L.2. *Amendment to Annex I to the Convention*.
- (2009). FCCC/CP/2009/L.6 *Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention*.
- (2009). FCCC/KP/CMP/2009/L.8 *Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol. Proposal by the President*.
- (2009). FCCC/SBI/2009/L.3/Rev.1 *Work of the Consultative Group of Experts on National Communications from Parties not included in Annex I to the Convention*.
- (2008). FCCC/TP/2008/7, *Investment and financial flows to address climate change: An update*.
- (2007). Decisió 1/CP.13, *Bali Action Plan*, a FCCC/CP/2007/6/Add.1.
- (2007). Decisió 1/CMP.3, *Fons d'Adaptació*, a FCCC/KP/CMP/9/Add.1.
- (2006). Decisió 10/CMP.2 *Proposal from Belarus to amend Annex B to the Kyoto Protocol*, a FCCC/KP/CMP/2006/10/Add.1*
- (2006). Decisió 7/CMP.2, *Review of the Kyoto Protocol pursuant to its Article 9*, a FCCC/KP/CMP/2006/10/Add.1*.
- (2006). *UNFCCC Handbook*, Secretaria UNFCCC, Bonn, ISBN: 92-9219-031-8
- (2005). FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1-4, *Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005*.
- (2005). Decisió 1/CP.11 *Dialogue on Long-term Cooperative Action to Address Climate Change by Enhancing the Implementation of the Convention*, a FCCC/CP/2005/5/Add.1.
- (2005). Decisió 2/CP.11 *Five-year programme of work of the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice on impacts, vulnerability and adaptation to climate change*, a FCCC/CP/2005/5/Add.1.
- (2005). Decisió 3/CMP.1 *Modalities and procedures for a clean development mechanism, as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol*, a FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1
- (2005). Decisió 9/CMP.1 *Guidelines for the implementation of Article 6 of the Kyoto Protocol* a FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2.
- (2005). Decisió 10/CMP.1 *Implementation of Article 6 of the Kyoto Protocol* a FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2.
- (2004). FCCC/CP/2004/10, *Report of the Conference of the Parties on its tenth session, held at Buenos Aires from 6 to 18 December 2004*.
- (2004). Decisió 1/CP.10 *Buenos Aires programme of work on adaptation and response measures*, a FCCC/CP/2004/10/Add.1.
- (2001). *Acords de Marrakesh*, 1/CMP.1 a 36/CMP.1, a FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1-Add.4
- (2001). Decisió 4/CP.7 *Development and transfer of technologies* a FCCC/CP/2001/13/Add.1.
- (2001). Decisió 5/CP.7, *Implementation of Article 4.8 and 4.9 of the Convention*, a FCCC/CP/2001/13/Add.1.
- (2001). Decisió 16/CP.7, *Guidelines for the implementation of Article 6 of the Kyoto Protocol* a FCCC/CP/2001/13/Add.2.
- (2001). Decisió 17/CP.7, *Modalities and procedures for a clean development mechanism as defined in Article 12 of the Kyoto Protocol*, a FCCC/CP/2001/13/Add.2.
- (2001). Decisió 26/CP.7: *Amendment to the list in Annex II to the Convention*, a FCCC/CP/2001/13/Add.4.
- (2001). Decisió 28/CP.7, *Guidelines for the preparation of national adaptation programmes of action*, a FCCC/CP/2001/13/Add.4.
- (2001). Decisió 29/CP.7, *Establishment of a least developed countries expert group*, a FCCC/CP/2001/13/Add.4.
- (1999). Decisió 8/CP.5, *Other matters related to communications from Parties not included in Annex I to the Convention*, a FCCC/CP/1999/6/Add.1.
- (1997a). Decisió 1/CP.3, *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, a FCCC/CP/1997/7/Add.1.
- (1997b). Decisió 4/CP.3, *Amendments to the list in Annex I to the Convention under Article 4.2(f) of the Convention*, a FCCC/CP/1997/7/Add.1.
- (1995a). Decisió 1/CP.1, *The Berlin Mandate: Review of the adequacy of Article 4, paragraph 2(a) and (b), of the Convention, including proposals related to a protocol and Decisions on follow-up*, a: CCC/CP/1995/7/Add.1.
- (1995b). Decisió 20/CP.1, *Establishment of a multi-lateral consultative process for the resolution of questions regarding the implementation of the Convention (Article 13)*, a FCCC/CP/1995/7/Add.1.
- (1995c). *Draft Rules of Procedure of the Conference of the Parties and its Subsidiary Bodies*, a FCCC/CP/1996/2.
- (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York.
- VAN DER WERF1, G.R. [et al.] (2009). «Emissions from forest loss», *Nature Geoscience* 2, p. 737–738.

Webgrafia

- IRENA - Agència Internacional de les Energies Renovables: www.irena.org.
- ALBA - Alianza Bolivariana Para Los Pueblos De Nuestra América: www.alianzabolivariana.org.
- Amigos de la Tierra: www.tierra.org.
- AOSIS – Aliança dels Petits Estats Insulars: www.sids-net.org/aosis.
- CEB - Chief Executives Board: www.unsystemceb.org.
- Climate-L: www.climate-l.org.
- Comissió Europea: www.europa.eu.
- Convenció de Viena per a la protecció de la capa d'ozó i el seu Protocol de Mont-real relatiu a les substàncies que esgoten la capa d'ozó: <http://ozone.unep.org/>.
- Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic: www.unfccc.int.
- ENB – Butlletí de negociacions de la Terra: www.iisd.ca.
- Ecologistes en Acció: www.ecologistasenaccion.org.
- FEDARENE: www.fedarene.org.
- IPCC - Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic: www.ipcc.ch.
- GEF: www.gefweb.org.
- IIED – International Institute for Environment and Development: www.iiied.org.
- ICLEI: www.iclei.org.
- IUCN: www.iucn.org.
- Major Economies Forum: <http://www.state.gov/g/oes/climate/mem/index.htm>.
- NRG4SD: www.nrg4sd.org.
- Portal de l'ONU i el Canvi Climàtic: www.un.org/wcm/content/site/climatechange/pages/gateway.
- CAN – Xarxa d'Acció pel Clima: www.climatenetwork.org, www.climnet.org.
- Oficina Catalana del Canvi Climàtic: http://mediam-bient.gencat.net/cat/el_medi/C_climatic/inici.jsp.

14. Aspectes legals de la lluita contra el canvi climàtic

Isabel Pont i Castejón, Mar Campins Eritja i Juan Emilio Nieto Moreno

Isabel Pont i Castejón (Barcelona, 1961) és doctora en Dret i professora titular de Dret Administratiu de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Ha estat vinculada professionalment al dret ambiental des de l'any 1985. La seva tesi doctoral va versar sobre el sistema de dret públic ambiental dels Estats Units d'Amèrica. Ha realitzat nombroses publicacions i conferències i ha organitzat cursos sobre els diferents subsectors i instruments ambientals, habitualment interessada en el paper de les diverses administracions públiques en la seva elaboració i aplicació. Ha estat magistrada de reforç del contenciós administratiu durat dos anys judicials. És la representant de l'Associació Espanyola de Dret Ambiental a Catalunya i pertany, entre altres, al Comitè científic de la Revista *Aranzadi Medi Ambient*, i al Comitè de recerca de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la UAB. Des de 1998 i fins el 2009 ha exercit com a advocada i assessora de l'Autoritat Portuària de Barcelona, i ha estat membre i secretària de la Comissió Mixta de Seguiment i Control Ambiental de les obres d'ampliació del port de Barcelona (1997-2011) i participant al *Foro Ambiental Portuario* de l'Estat espanyol. Ha dirigit, com a investigadora principal, diversos projectes europeus de recerca sobre avaluació d'impacte ambiental i sobre aspectes jurídics relacionats amb la teledetecció. Pertany a grups d'investigació sobre gestió integrada de zones costaneres i canvi climàtic, ha assessorat administracions públiques en matèria de futures iniciatives legislatives i sobre problemàtiques procedimentals, aspectes relatius a la distribució de competències, avaluació d'impacte ambiental de projectes i avaluació ambiental de plans i programes. Actualment forma part de l'equip de Govern de la UAB i es membre de la Comissió Jurídica Assessora de la Generalitat de Catalunya. Ha estat membre del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya.

Mar Campins Eritja (Barcelona, 1963) és doctora en Dret per la Universitat de Barcelona i professora titular de Dret Internacional Públic (Dret Comunitari Europeu) de la Facultat de Dret de la Universitat de Barcelona. Ha centrat la seva activitat investigadora en l'anàlisi de diversos aspectes del dret comunitari europeu i del dret ambiental internacional i europeu. En aquests àmbits ha publicat diverses monografies i articles, ha dirigit seminaris i ha coordinat projectes competitius de recerca. És membre d'un GRC de la Generalitat de Catalunya, i com a investigadora forma part de l'Institut de l'Aigua (UB), del Centre d'Estudis de Dret Ambiental de Tarragona (URiV), i del Centre de Recherche en Droit Public (UdeM). Ha realitzat diverses estades com a professora convidada a la Universidad de Puerto Rico, a la Nova Southeastern University, i a la Université de Montréal. En l'àmbit de la gestió universitària, entre 2002 i 2008 ha estat vicedegana de la Facultat de Dret, adjunta al vicerrector de política internacional, i vicerectora de política internacional de la Universitat de Barcelona.

Juan Emilio Nieto Moreno (Ciudad Real, 1967) és doctor en Dret, professor associat de Dret Administratiu de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), i investigador de l'Institut de Dret i Tecnologia (UAB). Ha estat vinculat professionalment al dret ambiental des de l'any 1997, interessat per diversos sectors i especialment el de l'avaluació ambiental de plans, programes i projectes. Va dedicar la seva tesi doctoral a l'avaluació ambiental de plans i programes. És autor de diverses publicacions i conferències, i participa com a docent en nombrosos cursos sobre diversos temes ambientals. Ha participat en projectes d'investigació europeus i nacionals, i ha assessorat professionalment la Generalitat de Catalunya i diverses administracions locals catalanes. Pertany, entre d'altres, al Grup d'Investigació sobre Gestió Integrada de Zones Costaneres.

Resum	553
Introducció	555
14.1. Règim jurídic internacional d'intervenció sobre el canvi climàtic	556
14.1.1. El Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto. Aspectes generals	556
14.1.2. Obligacions subscriïdes per les Parts en el Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i en el Protocol de Kyoto	558
14.1.2.1. L'atribució d'obligacions i el criteri de la diferenciació	558
14.1.2.2. Les obligacions subscriïdes per les Parts en el CMCC	559
14.1.2.3. Les obligacions subscriïdes per les Parts en el Protocol de Kyoto	561
14.1.3. Els mecanismes de flexibilització del compliment de les obligacions.	563
14.1.3.1. El mecanisme d'aplicació conjunta	564
14.1.3.2. El Mecanisme de Desenvolupament Net (MDN)	564
14.1.3.3. Els permisos negociables	565
14.1.4. La participació de la Unió Europea en el règim del canvi climàtic	567
14.1.4.1. L'atribució d'obligacions en matèria de limitació i de reducció d'emissions. Referència específica a la «bombolla europea»	567
14.1.4.2. Delimitació i abast de les competències comunitàries en matèria de canvi climàtic	569
14.1.4.3. L'adopció d'instruments comunitaris relatius al canvi climàtic	571
14.2. El paper de l'Estat davant el Conveni marc del canvi climàtic i el Protocol de Kyoto	579
14.2.1. Introducció	579
14.2.2. Els àmbits i activitats afectats pels compromisos i les competències a l'abast de l'Estat	580
14.2.3. Organització administrativa	581

14.2.3.1. El Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí: la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic i l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic	581
14.2.3.2. Altres òrgans	583
14.2.4. Exercici de competències sobre el canvi climàtic (les funcions normatives i les funcions executives): els objectius de reducció assumits per l'Estat espanyol i les principals mesures per a la seva consecució	585
14.2.4.1. Apunt general de l'evolució des dels inicis fins al Pla nacional d'assignació del 2006	585
14.2.4.2. Evolució des de l'any 2006. Estat actual de la qüestió: les principals mesures a nivell estatal per al compliment dels objectius relacionats amb el canvi climàtic	586
14.2.5. Aplicació del sistema europeu de comerç d'emissions	590
14.2.5.1. El règim de la Llei 1/2005 i les seves normes de desenvolupament	591
14.2.5.2. Incorporació de la revisió del sistema comunitari de comerç de drets d'emissió	592
14.2.6. Incorporació de la Directiva sobre emmagatzematge geològic de carboni i la normativa recent sobre gasos fluorats	595
14.3. Intervenció jurídica de Catalunya davant el canvi climàtic	595
14.3.1. Els compromisos adquirits (remissió)	595
14.3.2. L'Estatut d'Autonomia de Catalunya de 2006. Al·lusions al canvi climàtic i competències de la Generalitat de Catalunya que poden ser exercides quan s'hi vol incidir	596
14.3.2.1. Actuacions realitzades	599
14.4. Conclusions	610
14.4.1. Marc competencial de l'Estat	610
14.4.2. Organització administrativa estatal: evolució i formes adoptades	611
14.4.3. Organització administrativa estatal: intervenció de les comunitats autònomes	612

14.4.3.1. Intervenció de les comunitats autònomes en òrgans participats	612
14.4.3.2. Altres vies	613
14.4.3.3. Intervenció de les comunitats autònomes en l'adopció de decisions de caràcter supraestatal	613
14.4.4. Compromisos contrets i actuacions pendents	613
14.4.5. El marc competencial de Catalunya	614
14.4.6. Organització administrativa	614
14.4.7. Actuacions de natura normativa	615
14.4.8. L'actuació planificadora. Consideracions sobre el Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya	615
14.4.9. Alguns reptes pendents	616
14.4.9.1. Reptes estatals pendents i la seva afectació a Catalunya	616
14.4.9.2. El reptes per a Catalunya	617
Referències	617

Resum

Les polítiques de canvi climàtic han adquirit notable importància en els últims anys, tant en l'acció del govern central estatal com en la dels governs autonòmics i de les entitats locals, tot convertint-se en un eix transversal que afecta i ha d'afectar les polítiques sectorials catalanes en matèria d'energia, habitatge, indústria o transports, entre d'altres.

L'Estat espanyol ha preparat des de ben aviat la seva estructura interna per a l'adopció d'actuacions en matèria de canvi climàtic mitjançant dos òrgans fonamentals: el Consell Nacional del Clima i l'Oficina Espanyola del Canvi Climàtic. La reorganització ministerial del govern espanyol, duta a terme l'any 2008, unifica en un sol departament ministerial les competències dels anteriors ministeris de Medi ambient i d'Agricultura i Pesca. Aquesta reorganització pot servir a la idea de la transversalitat de les polítiques de lluita contra el canvi climàtic, i aquestes podrien trobar així un tractament més adequat. La Comissió de Coordinació de Polítiques sobre Canvi Climàtic (CCPCC) i la mateixa Autoritat Nacional, configuren models d'organització que respondrien correctament als criteris necessaris per a la gestió de la qüestió del canvi climàtic. Cal veure, en tot cas, quin es el seu funcionament real en la pràctica, i el pes que finalment assoleixen les posicions preconitzades i defensades per part d'una o diverses comunitats autònomes. El Grup de Treball de Mitigació i Inventaris, integrat en la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic, sembla haver tingut particular èxit en el treball conjunt dut a terme en ocasió de l'elaboració de les estratègies i plans de mitigació davant el canvi climàtic que han estat desenvolupades per part de les comunitats autònomes, així com que hagin estat posades en comú les metodologies de realització dels inventaris de gasos amb efecte d'hivernacle emprades per part d'aquestes.

Es disposa ja d'un instrument marc, d'una estratègia espanyola sobre canvi climàtic (l'EECCEL), eina que hauria d'emmarcar les accions que cal posar en marxa sobre aquesta matèria.

Cal apuntar que aquesta estratègia i, sobretot, els instruments que la desenvolupen, semblen haver tingut en compte la marcada transversalitat sectorial del fenomen (deixant de banda el marcat protagonisme que es concedeix en el document al sector energètic). Aquesta idea de la transversalitat, tan poc comuna en el nostre dret i tan necessària en aquest àmbit, s'aprecia sobretot a partir del pla de mesures urgents, i de les seves línies complementàries.

La participació de les comunitats autònomes ha estat pràcticament inexistent, si més no des del punt de vista formal, en el moment de prendre les més importants decisions adoptades fins a l'actualitat: signatura i ratificació de compromisos internacionals, elaboració i aprovació de la normativa amb rang de llei reguladora del règim de comerç d'emissions i de l'encara vigent Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissions. Caldria possibilitar la participació de les comunitats autònomes també en el moment en què es forma la voluntat estatal, és a dir, en la preparació i defensa de la seva posició davant els organismes internacionals i europeus que intervenen en el repte que suposa el canvi climàtic.

En l'anàlisi del bloc de constitucionalitat, es constata que el rol de la Generalitat de Catalunya pot ser important, atès que, més enllà de les competències estatals, veritablement resta encara un important espai per a l'actuació autonòmica en matèria de canvi climàtic.

Queda pendent encara la incorporació completa del paquet comunitari de directives que reformen el règim de comerç de gasos amb efecte d'hivernacle i sobre emmagatzematge geològic de carboni.

L'organització administrativa catalana en matèria de canvi climàtic gira avui al voltant de dos òrgans essencials: la Comissió Interdepartamental del Canvi Climàtic, i l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic, amb funcions complementàries d'integració de les polítiques de canvi climàtic al més alt nivell departamental, per una part, i d'impuls i gestió més quotidiana de l'Oficina, per una altra. L'estructura administrativa sembla

respondre a la idea de transversalitat sectorial a la qual reiteradament es fa referència com a necessària per escometre els problemes associats al canvi climàtic.

El Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 constitueix el docu-

ment essencial de l'acció catalana enfront del canvi climàtic: Catalunya disposa avui d'un pla amb objectius estratègics, d'un pla que està sent objecte de seguiment i avaluació, amb un contingut que es pot modificar o redreçar, si escau.

Introducció

A banda dels aspectes científics del fenomen del canvi climàtic, i també de l'anàlisi dels impactes, la vulnerabilitat, la mitigació i l'adaptació en relació amb els diversos subsectors que a la pràctica incideixen o resulten afectats per aquell, és necessari també aturar-se uns instants per tal de plantejar la qüestió de quins són els instruments de gestió emprats i, en primer lloc, de manera singular, la tipologia d'instruments de caire estrictament jurídic que han estat adoptats fins ara. Es tracta, sintèticament, de respondre clarament a la pregunta de quins són els compromisos concrets a què estem sotmesos des de Catalunya, i per tant, de determinar quines són les obligacions que resulten o poden resultar exigibles en un futur —amb independència de com pugui considerar-se individualment que cal atendre i respondre adequadament a aquesta problemàtica. Aquestes obligacions han de ser, per tant, un referent constant, ja que constitueixen el marc en el qual cal encaixar tota actuació pública sobre el canvi climàtic. Juntament amb l'exposició del contingut d'obligacions, i per tant de caire inexcusable, i de l'esment a quins són els seus terminis, s'assenyalen també, orientativament, les portes que entenem que resten obertes —i els seus límits— quan es desitja dur a terme actuacions singulars en aquesta matèria des de Catalunya. Amb aquests objectius, l'apartat que es presenta a continuació es desglossa en quatre àmbits: internacional, comunitari europeu, estatal i català. El primer se centra en l'estudi del règim jurídic internacional d'intervenció sobre el canvi climàtic. S'hi analitzen fonamentalment el Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic (en endavant, CMCC) i el Protocol de Kyoto (en endavant PK), i s'hi apunten les obligacions concretes que se'n deriven per als que en són signataris, els diversos mecanismes de compliment previstos i també les formes de control que han estat establertes en aquests dos importants instruments internacionals. S'esmenten també els avenços que s'han dut a terme els darrers anys. S'analitzen també els tipus d'actuacions que han estat dutes a terme per l'Estat espanyol, en tant que Estat part del CMCC i també del PK. A conti-

nuació s'examina, de manera singular, la participació de la Comunitat Europea, per tal de conèixer, entre d'altres aspectes, com es duu a terme l'atribució d'obligacions en matèria de limitació i reducció d'emissions entre els Estats membres, quines són les competències comunitàries sobre aquesta matèria i com han estat exercides fins a l'actualitat. L'objectiu és esbrinar el paper que ha tingut la Comunitat Europea en aquests darrers anys, quines eines utilitza i prioritza, però també establir com cal actuar dins dels diversos estats per tal que les seves polítiques sobre el canvi climàtic siguin totalment coherents amb el disseny i les opcions prèviament adoptades per la Comunitat Europea. En tercer lloc, s'examina l'àmbit estatal espanyol, en tant que signatari del CMCC i del PK, i en tant que Estat membre de la UE. Cal tenir presents les competències de què disposa l'Estat i que li permeten actuar sobre aquest àmbit i els seus límits, i explicitar així mateix què s'ha fet fins a l'actualitat (tant pel que fa a aspectes organitzatius, en les relacions interadministratives; i les iniciatives de caire estrictament normatiu), per tal de poder identificar què queda per fer. El darrer apartat es destina exclusivament a Catalunya. Es pretén conèixer quines són les competències de què disposa el nostre país per actuar sobre aquesta matèria i, per tant, les que justifiquen l'adopció de polítiques i actuacions públiques pròpies i singulars amb incidència sobre el canvi climàtic des d'aquest àmbit territorial. També es recorda i s'explica què s'ha fet fins a l'actualitat i el camí que s'està seguint. Finalment, el text pren un caire més valoratiu, a l'apartat destinat a les conclusions desenvolupades i a les propostes d'actuació. Si els punts anteriors han servit per advertir i comprendre els compromisos oficialment adquirits, les competències de què es disposa en cadascun dels nivells (estatal/català) i la forma i intensitat en què han estat exercides fins a l'actualitat, l'apartat final mira cara al futur. S'hi tracten els reptes que encara cal assolir i, dins el marc ja exposat, les possibilitats que entenem que encara queden obertes, per explorar, i quin es considera que pot arribar a ser el seu potencial. Essent, doncs, un sector normatiu especial-

ment dinàmic, en la lectura de les pàgines següents cal tenir ben present la data de tancament d'aquest estudi, per les eventuais variacions posteriors que es puguin produir, i les seves conseqüències pel que fa al règim jurídic regulador d'aquesta matèria.

14.1. Règim jurídic internacional d'inter- venció sobre el canvi climàtic

14.1.1. El Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto. Aspectes generals

El Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic té el seu origen en múltiples reunions d'experts que es venien celebrant des dels anys setanta i vuitanta amb l'objectiu d'uniformitzar criteris i intercanviar els resultats de les investigacions en matèria de canvi climàtic. És en aquest context que l'Assemblea General de les Nacions Unides va adoptar el 1989 la resolució 44/207 per la qual es demanava la preparació d'un conveni general sobre el canvi climàtic. Un any després, per medi de la resolució 45/212, va donar llum verda a la realització d'aquest objectiu amb la creació del Comitè Intergovernamental de Negociació (CIN), a qui atribuïa el mandat de dur a terme els treballs necessaris per a l'elaboració d'aquest instrument internacional.

La redacció definitiva del Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic (CMCC) és el resultat de les cinc reunions que entre febrer de 1991 i maig de 1992 va celebrar el CIN, que van permetre la seva signatura el 9 de maig de 1992 en el marc de la Conferència de les Nacions Unides pel Medi Ambient i el Desenvolupament. El Conveni va entrar en vigor el 21 de març de 1994, i actualment en formen part un total de 191 estats, a més de la Comunitat Europea¹. Espanya va signar el CMCC el 13 de juny de 1992, a Rio de Janeiro, i va ratificar-lo el 21 de desembre de 1993².

En aquest primer moment, i en la mesura en que es tractava d'un conveni marc, els estats contractants es van limitar a l'establiment d'obliga-

cions generals i a l'articulació de l'esquelet legal i institucional que hauria de permetre la realització d'accions futures. Ha estat posteriorment que s'ha procedit a l'adopció de compromisos substantius específics relatius a les mesures de control i reducció de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle i a l'elaboració de mecanismes de compliment i aplicació més detallats. Aquesta segona fase s'inicià el 1995 amb la celebració de la Primera Conferència de les Parts (COP) a Berlín³, el principal resultat de la qual va ser l'acord sobre la necessitat d'adoptar mesures específiques de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a partir de l'any 2000. Amb aquest objectiu es va instituir el Grup Especial pel Mandat de Berlín (AGBM)⁴, encarregat de preparar un instrument jurídic en què es desenvolupessin de manera detallada els compromisos de les parts en el CMCC. La negociació i la preparació d'aquest instrument va constituir l'objectiu prioritari de la Segona Conferència de les Parts el 1996⁵.

Finalment, la Tercera Conferència de les Parts es va reunir a Kyoto el desembre de 1997⁶, moment en que es va procedir a la signatura de l'anomenat Protocol de Kyoto (PK) pels Estats part al CMCC. El Protocol va entrar en vigor el 16 de febrer de 2005, després de la ratificació de la Federació Russa el 18 de novembre de 2004. Compta actualment amb la ratificació de 183 Estats, a més de la Comunitat Europea⁷. Espanya és Part al Protocol de Kyoto mitjançant la seva ratificació el 31 de maig de 2002⁸.

D'altra banda, el CMCC es va adoptar amb un caràcter indefinit i per aquesta raó establia uns objectius col·lectius a llarg termini. En canvi, el PK establia un sistema pensat per a l'assoliment d'uns resultats específics a més curt termini, amb uns compromisos de reducció individualitzats pels estats part de l'Annex I, que tenen una

3. Doc. FCCC/CP/1995/7/Add.1

4. Decisió 1/CP.1, Doc. FCCC/CP/1995/7/Add.1

5. Doc. FCCC/CP/1996/15/Add.1

6. Doc. FCCC/CP/1997/7/Add.1

7. <http://unfccc.int/resource/kpstats.pdf>. Kazakhstan i els Estats Units d'Amèrica, ambdós països Parts al Conveni Marc, no han ratificat encara el Protocol.

8. L'instrument de ratificació està publicat al BOE de 8.2.2005.

1. <http://unfccc.int/resource/conv/ratlist.pdf>. Andorra, la Santa Seu, Iraq i Somàlia encara no han ratificat el Conveni.

2. L'instrument de ratificació està publicat al BOE de 1.2.1994.

durada determinada, l'any 2012 en què finalitza el primer període de compromís. En aquest moment, el PK haurà de ser esmenat o substituït per un nou acord internacional que estableixi nous objectius de reducció d'emissions específics per als Estats part per al segon i els subsegüents períodes de compromís (a partir del 2012, a partir del 2017 i així *ad infinitum*). Aquest és en definitiva el compromís que contempla l'apartat 9 de l'art. 3 del PK, d'acord amb el qual

Los compromisos de las Partes incluidas en el anexo I para los periodos siguientes se establecerán en enmiendas al anexo B del presente Protocolo que se adoptarán de conformidad con lo dispuesto en el párrafo 7 del artículo 21. La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo comenzará a considerar esos compromisos al menos siete años antes del término del primer periodo de compromiso.

La finalitat última d'aquesta sèrie d'acords és, en definitiva, estabilitzar les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle de manera que s'evitin interferències perilloses en el sistema climàtic, tal i com estableix el CMCC. Es tracta ara d'assolir un acord que, a més de determinar els compromisos absoluts de reducció de les emissions per als països desenvolupats, fixi els nous objectius i les mesures concretes per reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i estableixi les bases d'un desenvolupament sostenible reforçant la capacitat d'adaptació dels països al canvi climàtic. Per aquesta raó, els esforços de les Parts al PK estan centrats actualment en negociar un nou acord i a preparar l'estratègia per al segon període de compromís de reducció d'emissions previst conforme al PK, que s'inicia en l'any 2012. Aquesta negociació, que es va abordar ja en la Conferència de les Parts que va tenir lloc a Bali el desembre de 2007 i que va propiciar l'adopció d'un full de ruta pel canvi climàtic, ha continuat a la Conferència de Pozdam el 2008 i a la Conferència de Copenhaguen el desembre de 2009, i hauria de concloure a la Conferència de Mèxic el proper mes de desembre de 2010.

L'estructura del CMCC no és gaire complexa. La primera part recull les disposicions introductòries, el seu objectiu principal, que es concreta

en «l'estabilització de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera a un nivell que impedeixi interferències antropogèniques perilloses en el sistema climàtic» i els principis que guien l'actuació dels estats en l'assoliment d'aquest objectiu. La segona part explicita els compromisos dels Estats Part pel que fa a la prevenció i a la reducció dels gasos amb efecte d'hivernacle, a la cooperació científica, tècnica i tecnològica, a la informació pública, i a la transferència de recursos. Per a la delimitació d'aquests compromisos, el CMCC fa una distinció entre els països desenvolupats o amb economies en transició (països llistats a l'annex I) i els països en vies de desenvolupament (països que no apareixen llistats a l'annex I), sobre la base del principi de les responsabilitats comunes però diferenciades que explícitament es reconeix en el text. La tercera part del CMCC estableix el marc institucional per a l'execució de les seves disposicions, i defineix cinc òrgans diferents: La Conferència de les Parts (en endavant, COP), òrgan que s'encarrega de la promoció i la supervisió de l'aplicació del Conveni a través de les seves decisions; la Secretaria, amb una funció auxiliar; l'Òrgan Subsidiari d'Assessorament Científic i Tecnològic (OSACT), amb la funció d'assessorar la COP i els altres òrgans en matèries científiques i tecnològiques; l'Òrgan Subsidiari d'Execució (OSE), que dóna suport a la Conferència de les Parts en la tasca de supervisar el compliment del Conveni; i el Mecanisme de Finançament, encarregat de distribuir els recursos financers. A la part quarta es mencionen els diferents mecanismes de control previstos al CMCC per garantir-ne l'aplicació, que essencialment consisteixen en la transmissió de les comunicacions nacionals dels estats i la seva revisió pels òrgans del Conveni, la institució d'un nou Mecanisme Consultiu Multilateral, i l'arranjament pacífic de les controvèrsies. En darrer lloc, les clàusules finals del CMCC tracten aspectes com l'elaboració d'annexos i protocols, el procediment d'esmena, la ratificació i l'entrada en vigor.

L'estructura del Protocol de Kyoto de 1997 segueix bàsicament la mateixa línia del CMCC. Primer introdueix les nocions que es fan servir en el text. Tot seguit, entra en el que constitueix

el nucli dur del Protocol, la determinació de les obligacions que regeixen per a totes les Parts al Protocol i els compromisos que afecten les Parts de l'annex I i l'annex II del CMCC. El PK reafirma el principi de les responsabilitats comunes però diferenciades i això es tradueix a nivell internacional en la imposició d'una obligació de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per part dels països desenvolupats o amb economies en transició (l'listats a l'annex I del CMCC) i en l'absència d'aquest tipus de compromisos per als països en desenvolupament. El PK també introdueix determinats mecanismes per facilitar el compliment d'aquesta obligació: l'aplicació conjunta (AC), la comercialització de drets d'emissió i l'establiment del denominat 'Mecanisme pel Desenvolupament Net' (MDN).

Des del punt de vista institucional, el PK manté essencialment el sistema orgànic establert en el CMCC, amb algun matis. Així, la Conferència de les Parts del CMCC serveix també com a Reunió de les Parts (MOP) del PK, cosa que implica una distinció jurídica, si bé no funcional, entre els dos òrgans. També s'estableix l'àmbit d'actuació de la Secretaria i dels òrgans subsidiaris del CMCC en el context del Protocol. D'altra banda, pel que fa als mecanismes de control de l'aplicació de les disposicions del PK, s'institueix un sistema de comunicacions nacionals. Juntaament amb els procediments d'arranjament pacífic de les controvèrsies i la possibilitat d'aplicar en el marc del PK el Mecanisme Consultiu Multilateral, s'ha introduït un nou Procediment de Conformitat segons el qual es diferencien les dues vies de la «facilitació» i la de «compliment» (*enforcement*).

Per últim, les disposicions finals fan esment de diversos aspectes, com són entre d'altres, l'esmena i la revisió del PK, la seva ratificació i l'entrada en vigor. És important assenyalar aquí que per a l'entrada en vigor del PK, s'establia un doble criteri que en feia un sistema de ratificació qualificada: d'una banda, s'exigia la ratificació de 55 Estats Part en el CMCC; de l'altra, es requeria la ratificació de un nombre d'Estats Part de l'annex I que comptabilitzessin conjuntament el 55% com a mínim de les emissions de CO₂ de l'any base de 1990. Si bé el primer d'aquests

criteris es complia amb escreix ben aviat, la segona exigència va ser més difícil d'assolir. Amb la ratificació de Japó, el juny de 2002, i de Canadà i Polònia el desembre de 2002, les ratificacions dels països desenvolupats representaven un 44,3% de les emissions de CO₂ l'any base de 1990. La ratificació de la Federació Russa el 18 de novembre de 2004, amb un 17,4% de les emissions, era essencial per assolir el límit del 55%, atesa la negativa, en aquell moment, dels Estats Units i d'Austràlia a ratificar el Protocol. D'altra banda, pel que fa a l'esmena del Protocol, que té ara mateix especial interès atesa la funció que ha d'acomplir la propera Conferència de les Parts, s'ha de recordar que els art. 20 i 21 del PK requereixen una majoria de ¾ Parts presents i votants per a l'esmena dels annexos A i B i una majoria de ratificacions de ¾ dels Estats Part al PK per a la seva entrada en vigor (és a dir, segons el nombre actual de Parts, seran necessàries 138 ratificacions per tal que el nou acord esmenat pugui entrar en vigor).

14.1.2. Obligacions subscrites per les Parts en el Conveni Marc sobre el Canvi Climàtic i en el Protocol de Kyoto

14.1.2.1. L'atribució d'obligacions i el criteri de la diferenciació

En l'àmbit de la protecció del medi ambient sovint és difícil determinar l'existència d'una relació sintagmàtica entre els drets i les obligacions que els tractats internacionals estableixen per als Estats Part. Ans al contrari, amb freqüència es pot constatar l'absència d'una reciprocitat clara entre ells. Això es deu en part a la naturalesa d'aquestes obligacions, caracteritzades com *erga omnes partes contractantes* pel dret internacional, a través de les quals es persegueix la protecció d'un interès comú de les Parts (per exemple, mitjançant l'estabilització de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera). En aquest sentit, en la mesura en què el canvi climàtic constitueix un fenomen que afecta un interès de tots els estats, Parts o no en el CMCC, les obligacions que estableix el text internacional s'han de considerar com a obligacions dirigides a la satisfacció dels interessos comuns de la comunitat internacional en conjunt.

Un altre element que caracteritza els drets i les obligacions al CMCC és el seu caràcter asimètric. L'article 3.1 del CMCC reconeix expressament l'existència d'una responsabilitat comuna però diferenciada dels Estats Part, traducció del principi de desigualtat compensadora pel qual es reconeix un tractament preferencial als països en vies de desenvolupament. En el context del CMCC això es reflecteix en l'establiment de diverses categories d'estats a l'hora de fixar les seves obligacions internacionals, i en la introducció d'una diferenciació bàsica entre els països desenvolupats i els països amb economies en transició, llistats a l'annex I del conveni, i els països en desenvolupament. D'aquesta manera, el CMCC enuncia una sèrie d'obligacions generals el compliment de les quals està a càrrec de totes les Parts, i la limitació als països llistats a l'annex I del compliment dels compromisos relatius a la reducció i la limitació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte els nivells de 1990, les fonts i els receptors. El PK reproduïx aquest criteri de la diferenciació, no només entre països desenvolupats i en desenvolupament, sinó també entre els mateixos països de l'annex I. Un exemple concret el constitueix la fixació de les quotes de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en funció dels percentatges establerts en l'annex B del Protocol, fet que comporta reconèixer diferències en els recursos i les capacitats entre els països desenvolupats.

14.1.2.2. Les obligacions subscrites per les Parts en el CMCC

A partir de la diferenciació entre els grups d'Estats Part, les diverses obligacions que imposa el CMCC són les següents:

a) Tots els Estats Part i la Unió Europea assumeixen les següents obligacions generals

i) Elaborar, formular, publicar, aplicar i actualitzar periòdicament inventaris nacionals de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i programes nacionals i regionals per reduir-ne els efectes (art. 4.1.a, b, j i art. 12.1 i 12.5).

A Espanya es va aprovar, el 2007, la Llei 34/2007 de qualitat de l'aire i protecció de l'atmosfera, que estableix l'obligació d'elaborar i actualitzar periòdicament un sistema d'inventari.

D'altra banda, l'Ordre MAM/1444/2006 designa la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental com a Autoritat Nacional del Sistema d'Inventari Nacional d'Emissions Contaminants a la Atmosfera. Pel que fa als inventaris nacionals de gasos amb efecte d'hivernacle, a la darrera Comunicació Nacional anual presentada per Espanya el 14 d'abril de 2009, s'especifica la utilització de les Guies de IPCC, l'inventari base EMEP-CORINAIR, a més d'altres fonts secundàries i les metodologies nacionals i es pren com a període base de referència l'any 1990 pel que fa al CO₂, CH₄, N₂O; i l'any 1995 per als gasos fluorats. L'interval d'anys considerats comprèn de 1990 a 2007⁹.

ii) Promoure i donar suport al desenvolupament i la difusió de tecnologies per controlar, reduir i prevenir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, incentivar la gestió sostenible (art. 4.1.d), i fomentar la investigació i el desenvolupament tecnològic, l'intercanvi d'informació i l'educació en matèria de canvi climàtic (art. 4.1.c, g, h, i).

Pel que fa a Espanya, i en l'aspecte relatiu al desenvolupament tecnològic (incloent-hi la seva promoció i difusió), sembla que aquest no rep tampoc un tractament singularitzat a la Quarta Comunicació Nacional espanyola, tramesa el 23 de març de 2006, i possiblement es considera que la transferència de tecnologia forma part dels

9. D'acord amb la Comunicació Nacional, les emissions totals de l'Estat se situen el 2007 en un 52'6% per damunt de l'any base i les absorcions netes de CO₂ en un 30'5% també per damunt de l'any base. Com a les comunicacions anteriors, es realitza l'examen per tipus de gas, essent destacable la gran diferència en pes absolut de les emissions de CO₂ (80%) en relació amb el conjunt dels altres gasos. També s'analitza l'evolució temporal de les emissions i s'examinen els diversos sectors d'activitat (amb un pes dominant pel que fa al grup de l'energia). En relació amb l'evolució temporal per sectors, també és remarcable com el grup de l'Energia i de Residus presenta el 2007 taxes de creixement de les emissions molt elevades, del 62'6% i del 83% respectivament, respecte l'any de base de 1990. L'inventari mostra evolucions més moderades al sector Processos industrials i Agricultura, amb taxes de creixement del 32'4% i del 15'1% respectivament. Vegeu l'*Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990-2007*, Comunicación a la Secretaría del Convenio Marco sobre Cambio Climático, marzo 2009, p.7-14 i 74-75, <http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/4771.php>

recursos i contribucions financeres realitzades al Fons pel Medi Ambient Mundial i altres institucions¹⁰.

En relació amb la investigació, la Comunicació d'Espanya ressalta la tasca duta a terme des de l'Institut Nacional de Meteorologia¹¹, la prioritització del Pla Nacional d'Investigació Científica, Desenvolupament i Innovació Tecnològica (2004-2007), i la participació en el VI Programa Marc de I+D de la Unió Europea, així com els projectes participats des d'Espanya i que són objecte de finançament per part de la Unió Europea¹². Pel que fa a l'observació sistemàtica del clima, a més de la participació en programes d'observació mitjançant sensors a satèl·lits, se subratllen les actuacions dutes a terme des de l'Institut Nacional de Meteorologia, Institut Espanyol d'Oceanografia, l'ens públic Ports de l'Estat, i la col·laboració oferta des de les Institucions acadèmiques i mediambientals¹³.

Finalment, en relació amb la informació i l'educació, la Comunicació Nacional fa esment a les mesures adoptades, sota l'apartat relatiu a l'educació, la formació i la sensibilització del públic¹⁴. S'hi fa referència a les campanyes ja iniciades i, fonamentalment, a les previsions de tractament de temes ambientals als diversos nivells educatius. També es fa al·lusió a l'oferta formativa universitària en mestratges i postgraus i a programes oficials de capacitat per a la formació de professionals.

iii) Cooperar en els preparatius per l'adaptació als impactes del canvi climàtic (art. 4.1.e i f) en el context de les polítiques socials, econòmiques, ambientals, etc. d'àmbit nacional. S'ha d'assenyalar aquí que Espanya, per la seva situació i característiques geogràfiques i socioeconòmiques, és un país especialment vulnerable al canvi climàtic.

En aquest sentit, la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático i el Consejo Nacional del Clima a Espanya van adoptar, el juliol de 2006, el Pla Nacional d'Adaptació com a marc general de referència per a les activitats d'avaluació d'impactes, vulnerabilitat i adaptació al canvi climàtic. En termes generals, però, la resposta d'Espanya es troba resumida a la mateixa Comunicació Nacional sota el punt «Evaluación de la vulnerabilidad, efectos del cambio climático y medidas de adaptación»¹⁵, fent-se referència exclusiva als recursos hídrics, litoral i boscos i agricultura, i llistant mesures que es considera que possibilitarien una adaptació als impactes negatius que es pateixen.

b) Els països de l'annex I (països desenvolupats i països amb economies en transició) i la Unió Europea es comprometen al compliment de determinats compromisos

i) Adoptar polítiques i mesures nacionals per mitigar el canvi climàtic, limitant les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i preservant els receptors i els dipòsits naturals, per tal d'assolir, individualment o conjuntament l'any 2000 el retorn als nivells de 1990 (art. 4.2.a i b). Tot i la seva ambigüitat expressament volguda, amb aquesta disposició el CMCC dóna el primer pas per a l'establiment futur d'objectius quantificats de limitació i reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, que es concreten (per al període 2008-2012) al PK.

Es tracta de presentar de forma periòdica, per tant, quines són les polítiques i mesures estatals que han estat adoptades i les que preveu adoptar l'Estat. Aquestes accions es recullen de manera sumària a les Comunicacions nacionals que periòdicament presenten els Estats Part. Així, a la Quarta Comunicació presentada per Espanya es tracten, sector per sector, les «polítiques i mesures» de forma individualitzada¹⁶ pel que fa a l'energia, els transports, els sectors comercial, institucional i residencial, la indústria, els residus, l'agricultura i la política forestal. S'analitza també «l'escenari tendencial», que resulta de l'aplicació d'aquestes mesures, i l'«escenari d'estalvi

10. Cuarta Comunicación Nacional de España, p.10-11, <<http://unfccc.int/resource/docs/natc/spanc4.pdf>>

11. Actualment Agencia Española de Meteorología.

12. Tot i que no es mencionen per la data de la Comunicació, cal considerar també aquí el Programa Coordinat AGE-CCAA en matèria de I+D+i sobre impactes i adaptació al canvi climàtic, el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2008-2011), i les accions del Instituto de Investigación de Cambio Climático (I2C2).

13. Cuarta Comunicación Nacional de España, p. 11- 12.

14. Cuarta Comunicación Nacional de España, p. 12.

15. Cuarta Comunicación Nacional de España, p. 141 i ss.

16. Cuarta Comunicación Nacional de España, p. 59 i ss.

base» que correspondria si aquestes mesures s'apliquessin conjuntament «amb mesures addicionals», es a dir, més intenses o decidides.

ii) Informar a la Conferència de les Parts, mitjançant les Comunicacions Nacionals, i d'acord amb tota una sèrie d'exigències pel que fa al seu contingut i el temps de presentació (art. 4.2.b i c, art. 4.6, i art. 12.5). En aquest aspecte, cal dir que Espanya ha tramès fins a la data les quatre Comunicacions Nacionals requerides pel CMCC.

c) Els països desenvolupats i la Unió Europea (annex II) queden sotmesos a obligacions específiques

i) Proporcionar recursos financers addicionals als països en desenvolupament. Aquesta transferència de recursos té bàsicament dos objectius: facilitar als països en desenvolupament el compliment dels compromisos generals assumits en virtut del CMCC (art. 4.3 i 12.3), i ajudar els països en desenvolupament que són particularment vulnerables als efectes del canvi climàtic a fer front a les conseqüències de l'escalfament global del planeta mitjançant les mesures d'adaptació (art. 4.4 i 12.3).

De fet, ja existeixen diversos fons per a l'adaptació en el marc del CMCC i del PK: el Fons per a Països Menys Desenvolupats i el Fons Especial per al Canvi Climàtic per a països en desenvolupament, finançats mitjançant contribucions voluntàries; als quals s'afegeix ara el Fons per a l'Adaptació que es nodreix del 2% dels crèdits generats pel Mecanisme de Desenvolupament Net i dels donants particulars. En aquesta línia també s'han produït dues fites importants: d'una banda, l'aprovació per la Conferència de Buenos Aires el 2004 del Programa de Treball sobre l'adaptació i les mesures de resposta¹⁷; i de l'altra, l'aprovació, a la Conferència de Montreal el 2005, del Programa de treball quinquennal sobre els aspectes científics, tècnics i socioeconòmics dels efectes, la vulnerabilitat i l'adaptació al canvi climàtic¹⁸.

ii) Promoure, facilitar i finançar la transferència i l'accés a la tecnologia i als coneixements en aquest àmbit (art. 4.5 i 12.3). En aquests aspec-

tes, i pel que fa a Espanya, ens remetem al que ja ha estat esmentat en paràgrafs anteriors.

14.1.2.3. Les obligacions subscriïdes per les Parts en el Protocol de Kyoto

El desplegament i la concreció de les obligacions establertes pel CMCC es produeixen en virtut del PK de 1997, que des del nivell dels grans objectius i principis descendeix al nivell d'una reglamentació més detallada per adequar els compromisos subscriïts per les Parts a la consecució de l'objectiu últim del CMCC. Així, el Protocol de Kyoto estableix les següents obligacions per al primer període de compromís, que s'inicia el gener de 2008 fins el 2012:

a) Tots els Estats part i la Unió Europea assumeixen les obligacions generals següents:

i) Formular, publicar, aplicar i actualitzar programes nacionals i on s'escaigui, regionals, per facilitar i millorar la preparació i la qualitat dels inventaris nacionals d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (art. 10.a), i programes nacionals i, on s'escaigui, regionals, per reduir-ne els seus efectes (art. 10.b). Estem davant programes que han de respectar un contingut mínim, prefixat al mateix PK¹⁹ i a les successives decisions de la Conferència de les Parts del CMCC i del PK.

Com ja s'ha dit, a Espanya la Llei 34/2007 de 15 de novembre, de Qualitat de l'Aire i Protecció de l'Atmosfera regula el sistema espanyol de informació, vigilància i prevenció de la contaminació atmosfèrica (art. 27). D'altra banda, a aquesta exigència respon també l'adopció per Espanya de l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta, Horitzó 2007-2012-2020 (EECCCEL) el 2 novembre de 2007²⁰, a la qual acompanya el Pla de Mesures Urgents (PMU) aprovat pel Consell de Ministres el 20 de juliol de 2007²¹; i l'adopció de l'Estratègia per a l'Estalvi i Eficiència Energètica a Espanya 2008-

17. Decisió 1/CP.10,

18. Decisió 2/CP.11

19. De tal manera que caldrà atendre en aquests documents tant als sectors de l'energia, transport i indústria, com agricultura, silvicultura i gestió dels residus (art. 10.b) PK).

20. http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/estrategia_cc/pdf/est_cc_energ_limp.pdf.

21. http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/estrategia_cc/pdf/plan_med_urg.pdf.

2012²². Pel que fa a les comunitats autònomes, el mes de març de 2009, 11 d'elles disposaven d'un Pla d'acció per al canvi climàtic ja operatiu (Andalusia, Astúries, Balears, Cantàbria, Catalunya, Galícia, La Rioja, Madrid, Múrcia, País Basc i València), mentre que a 6 d'elles es trobava en preparació (Aragó, Canàries, Castella-La Manxa, Castella-Lleó, Extremadura i Navarra).

ii) Cooperar en la promoció de modalitats específiques per al desenvolupament, la difusió i el finançament de la transferència de tecnologia, en particular en benefici de països en desenvolupament²³; i proporcionar el desenvolupament de la investigació científica i tecnològica, l'educació i la formació en matèria de canvi climàtic (art. 10.c, d, e). Per tant, cal que Espanya cooperi propiciant el desenvolupament de la investigació científica i tecnològica, procediments d'observació sistemàtica i creació d'arxius de dades, així com en l'elaboració i execució de programes d'educació i la formació en matèria de canvi climàtic, facilitant a nivell intern el coneixement públic sobre la informació disponible i l'accés del públic a aquesta.

b) Els països de l'annex I (països desenvolupats i països amb economies en transició) i la Unió Europea es comprometen al compliment de determinats compromisos:

i) Assolir, individualment o conjuntament, els objectius quantificats de limitació i reducció de les emissions (OCLRE) de determinats gasos amb efecte d'hivernacle, en el primer període de compromís (2008-2012) d'acord amb el que estableix el PK (art. 3.1 a 3 i 7 a 13). Amb aquesta terminologia, el PK es refereix a un objectiu de caràcter polític: especifica la fita que s'ha d'assolir en matèria de reducció i limitació d'emissions i deixa a la discreció de les Parts la determinació dels mitjans per fer-ho.

Aquests objectius quantificats s'han establert per a un conjunt de sis dels gasos amb efecte d'hivernacle no considerats en el Protocol de

Montreal de 1987 (d'acord amb l'annex A del PK: CO₂, N₂O, CH₄, HFC, PFC i SF₆) i per un primer període de compromís (2008-2012). Es fixa aleshores una reducció global del 5% com a mínim respecte els nivells de 1990 (per les emissions de CO₂, N₂O i CH₄) i de 1995 (per les emissions de HFC, PFC i SF₆). Aquesta reducció s'aplica de forma diferenciada en els països desenvolupats de l'annex I, en funció dels percentatges establerts a l'annex B del PK. Així, per exemple, a la Unió Europea se li assigna una reducció d'un 8%, als Estats Units un 7%, al Japó un 6%, mentre que, per exemple, Austràlia i Islàndia poden augmentar les reduccions en un 8% i un 10% respectivament. Per determinar les quotes individuals, s'ha tingut en compte el nivell de les emissions (històriques i actuals), les circumstàncies nacionals (geografia, demografia, PIB, capacitat de producció d'energia, etc.) i els costos de reducció (ajustament entre les obligacions que assumeix l'Estat i la seva capacitat per complir-les amb el menor cost possible).

ii) Per tal d'assolir el compromís quantificat de reducció i limitació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, s'imposa a les Parts de l'annex I del CMCC l'adopció i l'aplicació de polítiques i mesures nacionals per implementar els objectius quantificats de reducció i limitació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, d'acord amb les circumstàncies nacionals (art. 2.1.a), minimitzant els possibles efectes adversos que aquestes polítiques i mesures poguessin tenir en altres Estats (art. 2.3), i cooperant amb les altres Parts per garantir la seva efectivitat (art. 2.1.b)²⁴. S'ha de mencionar aquí que de manera complementària a l'adopció d'aquestes polítiques i mesures internes, l'Estat pot decidir utilitzar els mecanismes flexibles que més

22. http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/normativa_cc/pdf/plan_accion_2008_2012.pdf.

23. En particular, els països llistats a l'article 4.8 del CMCC: insulars petits, amb zones d'alta contaminació atmosfèrica urbana, amb ecosistemes fràgils, etc.

24. Com ja s'ha dit en el cas d'Espanya, vegeu l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta, Horitzó 2007-2012-2020 (EECCCL) el 2 novembre de 2007, http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/estrategia_cc/pdf/est_cc_energ_limp.pdf, a la que acompanya el Pla de Mesures Urgents (PMU) aprovat pel Consell de Ministres el 20 de juliol de 2007 http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/estrategia_cc/pdf/plan_me_d_urg.pdf; i l'adopció de l'Estratègia pel l'Estalvi i Eficiència Energètica a Espanya 2008-2012, http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/normativa_cc/pdf/plan_accion_2008_2012.pdf.

endavant es comenten: Mecanisme de Desenvolupament Net (art. 12), Aplicació Conjunta (art. 6) i Comerç Internacional d'Emissions (art. 17).

iii) Els articles 5, 7 i 8 del PK estableixen, a més, tota una sèrie d'obligacions relacionades amb la revisió i notificació de la informació que les Parts de l'annex I han d'adreçar a la Secretaria del CMCC i del PK, així com als sistemes i les metodologies per a la preparació dels inventaris d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. D'una banda, abans del 2007, és a dir com a màxim un any abans que comencés el primer període de compromís (2008-2012), els Estat Part havien d'establir un sistema nacional per a l'estimació de les emissions antropogèniques per a les fonts i l'absorció pels embornals de tots els gasos amb efecte d'hivernacle (art. 5.1 PK). De l'altra, l'art. 7 del PK disposa que les Parts de l'annex I presentin els inventaris anuals i les comunicacions nacionals periòdiques, inclosa la informació suplementària per confirmar el compliment de les obligacions establertes pel PK. D'acord amb la Decisió 13/CMP.1 de la Conferència de Mont-real, les Parts havien d'enviar aquest informe inicial a la Secretaria del CMCC i del PK abans de l'1 de gener de 2007. Finalment, l'art. 8 del PK estableix la revisió dels inventaris anuals i les comunicacions nacionals periòdiques per grups d'experts.

Espanya va remetre el seu informe inicial el 19 de desembre de 2006, i aquest va ser revisat pel grup d'experts²⁵, com estableix l'art. 8 del PK, a l'abril de 2007. Amb la incorporació de les recomanacions elaborades per l'equip de revisors, Espanya va elaborar i va presentar l'informe revisat el juny de 2007²⁶.

c) Els països desenvolupats i la Unió Europea (annex II) queden sotmesos a l'obligació específica de proporcionar recursos financers addicionals (bé a través del Mecanisme Financer, bé a través de mecanismes bilaterals, regionals o multilaterals) als països en desenvolupament perquè puguin fer front al cost econòmic derivat de les

accions que han de dur a terme d'acord amb l'article 4.1 del CMCC (art. 11, i en particular en la preparació d'inventaris nacionals (art. 11.a) i a la transferència de tecnologia (art. 11.b).

14.1.3. Els mecanismes de flexibilització del compliment de les obligacions

Per facilitar l'assoliment d'aquests objectius, el PK proposa, com a contrapartida als països desenvolupats, tres instruments que flexibilitzen la naturalesa de les fites establertes: dos mecanismes considerats «de projecte», com són l'aplicació conjunta (AC) (art. 6) i el Mecanisme de Desenvolupament Net (MDN) (art. 12), i l'articulació d'un sistema de permisos negociables (art. 17). D'acord amb el que es disposa en el PK, s'encomana a la Reunió de les Parts la definició de les modalitats, condicions, agents i formes de verificació d'aquests mecanismes. Fins que el PK no va entrar en vigor, aquesta tasca la va realitzar la Conferència de les Parts del CMCC, que en el Quart període de sessions va adoptar l'anomenat Pla d'Acció de Buenos Aires (1998) amb els temes i el calendari de la negociació que havia de facilitar l'acord a la Sisena Conferència de les Parts a La Haia l'any 2000²⁷. Tot i això, en aquell moment no es va poder assolir l'acord²⁸, i el consens de les Parts no es va formalitzar materialment fins a la Setena Conferència a Marràqueix el 2001²⁹.

Tot i que cada un d'aquests mecanismes té les seves característiques específiques, comparteixen certs trets comuns: el seu doble fonament, econòmic i ambiental, que explica també la seva naturalesa geogràfica; la seva suplementarietat (addicionalitat) respecte al compliment dels objectius nacionals de limitació i reducció d'emissions; la fungibilitat i el caràcter intercanviable dels títols que es deriven d'aquests mecanismes; l'establiment de certs requisits d'elegibilitat pels països de l'annex I pel que fa a la seva participació en aquests mecanismes, i la participació del sector privat³⁰.

25. Doc. FCCC/IRR/2007/ESP.

26. http://unfccc.int/files/national_reports/initial_reports_under_the_kyoto_protocol/application/pdf/informe_cantidad_asignada.pdf.

27. Decisió 1/CP.4, Doc. FCCC/CP/1998/16/Add.1

28. Decisió 1/CP.6, Doc. FCCC/CP/2000/5/Add.2

29. «Programa de treball sobre els Mecanismes», Doc. FCCC/CP/2001/5/Add.2. Vid. Decisions 15/CP.7, 16/CP.7, 17/CP.7, 18/CP.7 i 19/CP.7, Doc. FCCC/CP/2001/13/Add..2

30. Vegeu Saura Estapà, 2003, p. 36 i següents.

14.1.3.1. El mecanisme d'aplicació conjunta

L'Aplicació Conjunta implica la possibilitat que un Estat de l'annex I inverteixi en un determinat projecte que s'executa en el territori d'un altre Estat, també de l'annex I, que té com a resultat la reducció de gasos amb efecte d'hivernacle. Aquesta activitat pot comportar l'acreditació, per una entitat independent, d'unitats de reducció d'emissions (URE/ERU-*Emission Reduction Units*) que es comptabilitzen en el còmput de l'Estat inversor (tot i haver-se obtingut fora del seu territori). La reducció d'emissions es calcula i es verifica, abans de la implementació del projecte, a partir d'una línia base (*baseline*) de les emissions futures que es produirien en el supòsit que aquest no es dugués a terme.

D'acord amb l'art. 6 del PK, doncs, s'autoritza a les Parts de l'annex I a adquirir o a transferir entre elles aquestes URE de gasos amb efecte d'hivernacle. D'aquesta manera, les Parts de l'annex I i el sector privat que participa en el sistema poden invertir en projectes de reducció d'emissions en el territori d'altres Parts incloses a l'annex I i aplicar les URE que obtenen amb aquesta actuació a la consecució dels objectius nacionals que s'han compromès a assolir. El mateix art. 6 estableix determinats criteris per dur a terme els projectes d'aplicació conjunta: el consentiment de les Parts implicades, la materialització d'una reducció d'emissions o d'una millora de receptors addicional a la que s'hagués produït si no existís el projecte, l'exigència que l'Estat que executa el projecte disposi en l'àmbit nacional d'un sistema per a l'avaluació i mesura de les emissions antropogèniques per fonts i receptors, que l'Estat estigui al dia respecte a l'obligació de presentació d'informes, i el caràcter suplementari que respecte l'adopció de mesures nacionals tenen els projectes d'execució conjunta.

Cal assenyalar, finalment, que des de la Primera Conferència de 1995 ja es va promoure la conclusió d'acords entre les Parts per iniciar amb caràcter experimental aquest tipus d'activitats (fase pilot en la qual inicialment no s'hi considerava l'obtenció d'unitats de reducció) sobre la base dels criteris esmentats. No obstant això, les qüestions relatives als fons addicionals necessaris per dur a terme aquests projectes, la metodologia per determinar el benefici ambiental addicio-

nal que comporta la seva realització, o els mecanismes de seguiment, control i verificació dels resultats de l'aplicació conjunta no van començar a perfilar-se fins el 2001, quan la Setena Conferència es va pronunciar sobre l'establiment d'una estructura orgànica de supervisió dels projectes, la utilització d'entitats operacionals acreditades per verificar la reducció, l'admissió de projectes per a la certificació de les unitats de reducció, i la cobertura de les despeses administratives que origina el funcionament del mecanisme³¹. L'establiment del Comitè de Supervisió previst a l'art. 6 del PK, establert en la primera Conferència de les Parts en qualitat de Reunió de les Parts (COP/MOP1) el desembre de 2005, ha permès que el mecanisme estigui plenament operatiu des del 2006.

Essencialment, hi ha dues possibles vies per dur a terme l'execució d'un projecte d'AC, depenent de la situació en la qual es trobi el país receptor de la inversió respecte al compliment de les obligacions metodològiques i d'informació exigides pel PK. D'una banda, la denominada via simplificada per a aquells països de l'annex I que compleixen tots els requisits de elegibilitat recollits en els Acords de Marràqueix i que implica la verificació pel país receptor del projecte de les reduccions d'emissions o absorcions de carboni i la consegüent expedició de la quantitat corresponent d'URE. D'altra banda, en aquells casos en què el país receptor del projecte no compleix la totalitat dels requisits, l'addicionalitat del projecte es comprovarà mitjançant el procediment de verificació que realitzi el Comitè de Supervisió de l'art. 6 del PK amb el suport de les entitats acreditades independents³².

14.1.3.2. El Mecanisme de Desenvolupament Net (MDN)

En segon lloc, l'art. 12 del PK introdueix el Mecanisme de Desenvolupament Net. La seva funció és doble: d'una banda, s'encarrega d'assistir els països en desenvolupament en la consecució d'un desenvolupament sostenible; de l'altra, dóna suport a les Parts de l'annex I en el compliment

31. Decisió 16/CP.7

32. Fins a agost de 2009 hi havia tres entitats acreditades principals: TÜV-SÜD Industrie Services GmbH, SGS United Kingdom Ltd., i Bureau Veritas Certification Holding SAS.

dels seus compromisos quantificats de limitació i reducció d'emissions. A diferència del sistema anterior, que s'articula inicialment entre els països desenvolupats que han assumit compromisos de reducció, en aquest cas el sistema funciona precisament a través de la cooperació entre els països de l'annex I i els que no en formen part.

Tot i que en un començament l'establiment d'aquest mecanisme s'havia plantejat com un fons de finançament vinculat als règims de control del compliment, la versió final que es va aprovar en el PK ens ofereix un instrument més relacionat amb els mecanismes d'aplicació conjunta. D'una banda, els països en desenvolupament poden beneficiar-se de les activitats de projectes que persegueixin aquests objectius de reducció d'emissions per facilitar la seva adaptació a les mesures que s'adoptin per reduir els efectes del canvi climàtic (art. 12.3.a). De l'altra, el mecanisme garanteix que els països de l'annex I que vulguin invertir en projectes en els països en desenvolupament poden utilitzar les Reduccions Certificades d'Emissions (*RCE/CER-Certified Emission Reductions*) que resultin d'aquestes activitats per contribuir al compliment d'una part dels seus propis compromisos quantificats de limitació i reducció d'emissions (art. 12.3.b). D'aquesta manera, l'administrador del registre del MDN transfereix les RCE que s'han obtingut per activitats de projecte del MDN al compte, bé dels participants en els projectes inscrits en el registre del MDN, bé als comptes corresponents als registres nacionals de les Parts de l'annex I que van autoritzar aquesta participació, exclòs el 2%, que va directament al Fons d'Adaptació.

Per dur a terme aquest objectiu, el PK permet que les entitats públiques o privades puguin participar en el mecanisme, sota la direcció d'una junta executiva subjecta a l'autoritat de la Reunió de les Parts del PK, que és a la vegada l'encarregada de canalitzar els fons públics i privats per al finançament de projectes en els països en desenvolupament. A més, s'estableixen les condicions per a la realització d'aquests projectes: que la participació de les Parts s'hagi acordat voluntàriament; que hi hagi beneficis reals, mesurables i a llarg termini en relació amb la mitigació dels efectes del canvi climàtic, i que la reducció de les emissions sigui addicional a les que es produïrien en absència de l'activitat projectada.

La Conferència de Marràqueix el 2001 va facilitar la posta en marxa del MDN, i això va permetre que la Junta Executiva pogués presentar el seu primer informe a la Conferència de Nova Delhi de 2002, en què es disposa l'inici del procés d'acreditació de les entitats que participen en el mecanisme³³, així com la preparació de les recomanacions sobre les modalitats i els procediments per a les activitats de projectes³⁴. La Conferència de Milà al 2003 també va assolir avenços importants en la definició i la inclusió de les modalitats dels projectes relatius a les activitats d'ús del sòl, canvis en la utilització del sòl i silvicultura (LULUCF)³⁵ en el marc del MDN, un dels temes que ha generat més discussions des de 1998. De fet, el primer període de compromís del PK exclou la conservació dels boscos i la prevenció de la desforestació del MDN, el que amb el temps ha motivat que moltes veus reclaressin la seva inclusió al segon període de compromís. Finalment, a la Conferència de Poznan el 2008, una de les últimes qüestions a quedar resolta va ser justament una proposta de Brasil de considerar l'extensió dels criteris d'elegibilitat de les activitats de repoblament i reforestació en el marc del MDL. D'altra banda, s'ha d'assenyalar que el sistema del CDM serveix també com a instrument de finançament de caràcter global. És, doncs, un òrgan multilateral que recapta aquests fons, ja que el 2% dels crèdits de reducció d'emissions generats per projectes de CDM nodreixen, com ja s'ha dit, el Fons d'Adaptació creat en el marc del PK i s'utilitzen per donar suport a l'adaptació als països en desenvolupament.

14.1.3.3. Els permisos negociables

A més de poder adquirir RCE mitjançant els projectes del MDN, els Estats Part inclosos a l'annex I ho poden fer també a través dels permisos negociables (així com de les Unitats de Quantitat Assignades, UCA/ AAU, *Assigned Amount Unit*), i les Unitats d'absorció, UDA/ RMU *Removal Unit*). Tenen aquest caràcter els denominats drets d'emissió o permisos negociables als quals

33. Actualment hi ha 45 entitats operacionals acreditades; en el cas d'Espanya, és AENOR.

34. Decisió 21/CP.8, Doc. FCCC/CP/2002/7

35. Decisió 19/CP.9, Doc. FCCC/CP/2003/6/Add.2.

es refereix de manera expressa l'art. 17 del PK. La seva introducció s'explica pel fet que, en funció del seu grau de desenvolupament econòmic durant els períodes fixats al PK, alguns dels Estats Part de l'annex I poden acumular i no utilitzar les quantitats (*hot air*) que tenen atribuïdes d'acord amb els compromisos quantificats de limitació i reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Amb l'establiment d'aquests permisos negociables s'accepta de fet la possibilitat de compra-venda d'aquestes emissions per part dels Estats que assumeixin compromisos relatius als objectius quantificats, de tal manera que un Estat que excedeixi la seva quota d'emissions pugui «comprar» a un altre Estat la part no utilitzada de les seves. En el fons, la transferència d'aquestes emissions cap a un país que vulgui fer-les servir no representarà probablement una clara reducció d'emissions per al país exportador, ja que en tot cas representa un increment respecte de les emissions reals que s'haurien produït en absència de la possibilitat de comerciar-hi.

Com en el cas anterior, a més dels governs dels Estats Part a l'annex I poden participar altres actors no estatals, com les empreses privades, les ONG o altres persones jurídiques autoritzades per les Parts. Així, la Decisió 18/CP.7³⁶ dona als països de l'annex I la possibilitat d'autoritzar les persones jurídiques a transferir o adquirir RCE/URE/UCA i UDA, si bé fixa determinades condicions: l'elaboració i actualització periòdica per l'Estat d'un registre d'aquestes entitats, i la prohibició que aquestes persones jurídiques puguin adquirir o transferir drets d'emissió durant el període de temps en què l'Estat no compleixi els criteris d'elegibilitat.

L'any 2005 la Conferència de Montréal va adoptar la Decisió 11/CMP.1, que estableix els requisits que han de complir les Parts per participar en el mercat d'emissions i descriu els procediments de determinació de la seva admissibilitat³⁷, i la Decisió 13/CMP.1, que determina les modalitats per comptabilitzar les quantitats assignades i

exigeix a les Parts de l'annex I l'establiment i manteniment al dia d'un registre nacional per portar la comptabilitat de l'expedició, possessió, transferència, adquisició, cancel·lació i retirada de les unitats de CO₂³⁸. Pel que fa als criteris d'elegibilitat, són els següents: la ratificació prèvia del PK; haver calculat, en tones d'emissions expressades en CO₂³⁹ equivalent, la quantitat que se'ls ha assignat; haver establert un sistema nacional per estimar les emissions i l'absorció de gasos amb efecte d'hivernacle dins del seu territori; haver establert un registre nacional i efectuar el seguiment de la creació i moviment de les URE, RCE, UCA i UDA i presentar anualment aquesta informació a la Secretaria del CMCC-PK; i presentar anualment a la Secretaria del CMCC-PK la informació relativa a les emissions i a l'absorció.

Davant de la posició dels països desenvolupats, liderats pels Estats Units i favorables a una concepció àmplia del sistema dels permisos negociables⁴⁰, els països en desenvolupament han manifestat sovint el seu temor que aquest mecanisme solament serveixi perquè els països de l'annex I (per ara els únics amb capacitat per participar en el sistema, i per tant, amb capacitat de determinar el preu) «comprin» drets d'emissió a baix preu (el que també podria devaluar les transferències d'emissions que es puguin produir en el marc del MDN) i acabin per consolidar la base d'un autèntic dret de propietat irrevocable sobre aquestes emissions. Els països en desenvolupament han advertit també del perill que els països de l'annex I puguin ignorar l'obligació de l'adopció de polítiques nacionals dirigides a la reducció i a la limitació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en les seves jurisdiccions, amb el risc que al final es produeixi un efecte totalment contrari al desitjat. És a dir, que el comerç d'emissions es converteixi en un vehicle per debilitar els compromisos assumits en matèria de limitació i reducció d'emissions, el que implicaria una violació clara de l'esperit del PK i dels principis recollits al CMCC.

36. Doc. FCCC/CP/2001/12/Add.2.

37. Doc. FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2. La llista dels estats considerats elegibles es pot trobar a http://unfccc.int/files/kyoto_mechanisms/compliance/enforcement_branch/application/pdf/eligibility_list_20_june_2008.pdf

38. Doc. FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.2.

39. L'efecte combinat de tots els gasos amb efecte d'hivernacle es tradueix a la concentració de CO₂ que faria el mateix efecte. Aquesta concentració s'anomena de CO₂ equivalent.

40. Decisió 5/CP.1, Doc. FCCC/CP/1995/7/Add.1.

14.1.4. La participació de la Unió Europea en el règim del canvi climàtic

14.1.4.1. L'atribució d'obligacions en matèria de limitació i de reducció d'emissions. Referència específica a la «bombolla europea»

La Unió Europea (UE) ha atorgat des d'un bon començament una gran importància als reptes que implica la reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i la lluita contra el canvi climàtic. Mostra d'aquest interès són les mesures adoptades fins ara, a les quals es fa referència més endavant i que han permès que la Comunitat Europea pogués confirmar, en el seu Quart informe a la Secretaria del CMCC, una reducció de les emissions l'any 2006 d'un 2,7% per a la Unió Europea de 15 estats membres (els que actualment conformen la «bombolla europea») i d'un 7,5% per a la Unió Europea de 27 Estats membres respecte els nivells emesos l'any de referència de 1990⁴¹. Les dades provisionals que va publicar l'agost de 2009 l'Agència Europea del Medi Ambient indiquen que les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle van disminuir també el 2008. Comparades amb les dades oficials relatives a les emissions de 2007, la reducció anual s'estima en un 1,3% per la Unió Europea de 15 Estats membres i d'un 1,5% per al conjunt dels 27 Estats membres de la Unió Europea. D'acord amb aquestes estimacions, les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle el 2008 se situarien en el -6,2% respecte a l'any de referència per a la Unió Europea de 15 Estats membres i en un -10,7% per a la Unió Europea de 27 Estats membres⁴².

La Unió Europea i els seus Estats membres⁴³, tots ells inclosos en l'annex I del CMCC i en

l'annex B del PK (excepte Malta i Xipre), constitueixen, de fet, un supòsit especial pel que fa a l'atribució dels compromisos de reducció i limitació de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle. Així, l'art. 4 del PK permet que el compliment d'aquests compromisos pugui dur-se a terme entre un grup de Parts de l'annex I, mitjançant l'establiment d'objectius quantificats conjunts que posteriorment es distribueixen internament en diferents porcions, segons la capacitat econòmica i el grau de desenvolupament dels Estats que hi participen. Tot i que aquesta disposició es refereix en general a actuacions conjuntes que es duguin a terme en el marc d'organitzacions internacionals d'integració econòmica, aquesta és, en definitiva, la situació prevista per a la Comunitat Europea (CE) i el que es coneix, en la terminologia del CMCC, com la «bombolla europea», que des de l'entrada en vigor del Tractat de Lisboa, es pot transposar a la Unió Europea.

Per tal d'assolir l'objectiu global de reducció d'un 8% de les emissions dels gasos que estableix el PK per al primer període (2008-2012), la Comunitat Europea va determinar, mitjançant la Decisió del Consell de 25 d'abril de 2002⁴⁴, per la qual es ratifica el Protocol de Kyoto, les contribucions dels quinze Estats aleshores membres (*burden sharing agreement*)⁴⁵. Aquesta distribució es va establir de la següent manera: Luxemburg: -28%; Dinamarca: -21%; Alemanya: -21%; Àustria: -13%; Regne Unit: -12,5%; Bèlgica: -7,5%; Itàlia: -6,5%; Països Baixos: -6%; França: 0%; Finlàndia: 0%; Suècia: +4%; Irlanda: +13%; Espanya: +15%; Grècia: +25%, i Portugal: +27%.

Per tant, Espanya pot augmentar el seu nivell d'emissions només un 15% respecte als nivells de 1990, objectiu el compliment del qual hauria d'assolir-se en el primer període de compliment (2008-2012). En magnituds quantitatives, aquest objectiu equival a no sobrepassar en conjunt i anualment la xifra d'emissions aproximada de 350 milions de tones de CO₂ equivalent

41. COM(2006)40 final, de 8.2.2006, «Cuarto Informe Nacional de la CE para la CMCC».

42. Vid. <http://www.eea.europa.eu/highlights/new-estimates-confirm-the-declining-trend-in-eu-greenhouse-gas-emissions>

43. La Comunitat Europea i els seus estats membres són Part al CMCC i han ratificat el PK. Vid. Decisió del Consell 94/69/CE, de 15.12.1993, relativa a la conclusió del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DO L 33, de 7.2.1994, i Decisió del Consell 2002/358/CE, de 25.4.2002, relativa a l'aprovació, en nom de la CE, del Protocol de Kyoto al Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DO L 130, 15.5.2002.

44. Doc. FCCC/CP/2002/2, que conté l'Acord entre la Comunitat Europea i els seus Estats membres en virtut de l'art. 4 del Protocol de Kyoto.

45. Vid. Decisió del Consell de 25 d'abril de 2002 (punt 10 de l'Exposició de Motius)

(t CO₂ eq.)⁴⁶. No obstant, sembla difícil que Espanya no superi aquest +15%, ja que l'avaluació temporal dels darrers anys mostra una tendència de creixement de les emissions força significativa: així, el conjunt de les activitats cobertes pel règim internacional, l'any 1995 ja el superava en un 10'8%; l'any 2000 en un 33,8%, i el 2005 s'arribava a un 53'3%, que es reduïa a un 50,6% el 2006⁴⁷.

D'altra banda, la situació respecte els Estats membres que s'han adherit a la Unió Europea amb posterioritat a aquest acord és una mica diferent. En principi, els nous Estats membres es troben fora de l'esquema de la «bombolla europea» en la mesura en què la seva configuració no permet modificacions dins del primer període de compromís, és a dir, no se'ls aplica la quota global del -8%. Amb l'excepció de Malta i Xipre, no vinculats per l'annex I del CMCC, els nous Estats membres ja havien acceptat, però, com a Estats amb economies en transició i en el moment de ratificar el PK, determinats compromisos de reducció: la República Eslovaca, Eslovènia, Estònia, Letònia, Lituània, la República Txeca, Bulgària i Romania s'havien compromès a

reduir les seves emissions en un -8% respecte a l'any de referència de 1990; i Hongria i Polònia s'havien compromès a una reducció del -6%.

En la pràctica, la «bombolla europea» implica el compliment conjunt dels compromisos de reducció i de limitació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la UE, és a dir, l'assoliment del nivell combinat de reducció del 8% establert a l'annex B del PK per al primer període de compromís. La UE i els Estats Membres són coresponsables que la Unió assoleixi el seu compromís quantificat de reducció d'emissions. Cal tenir present, a més, que d'acord amb el Tractat, els Estats Membres, individualment i col·lectiva, tenen l'obligació d'establir mesures adequades, generals o particulars, per tal d'assegurar el compliment, també, de les obligacions internacionals subscrites per la Unió Europea, facilitant la realització d'aquestes i abstenint-se de qualsevol mesura que posi en perill el seu assoliment.

Tot i això, la «bombolla europea» no cobreix el compliment d'altres obligacions subscrites en el seu moment pels Estats membres i la CE en virtut del CMCC i del PK, l'execució de les quals en tot cas seguirà, a nivell comunitari, els criteris generals aplicables al compliment dels acords mixtos. Això afecta, d'una banda, l'adopció de polítiques i mesures nacionals per mitigar el canvi climàtic, l'elaboració, aplicació i publicació periòdica dels inventaris nacionals de gasos amb efecte d'hivernacle i dels programes nacionals d'actuació, la preparació de les polítiques sectorials nacionals per a la seva adaptació als impactes del canvi climàtic; de l'altra, la presentació de comunicacions nacionals periòdiques i la informació als òrgans del CMCC i del PK; i finalment, la promoció i difusió de les accions de R+DT, l'intercanvi d'informació i l'educació en matèria de canvi climàtic, així com la transferència de recursos financers i tecnològics als països en desenvolupament. En aquest punt cal recordar la referència que el Tribunal de Justícia de la Unió Europea (TJUE) ha fet en el dictamen 1/94 de 15 de novembre de 1994 al deure de cooperació entre les institucions comunitàries i els Estats membres en el compliment de les obligacions internacionals, sens perjudici dels criteris generals

46. Per complir aquesta obligació, Espanya va adoptar el Real Decret 1866/2004, de 6 de setembre de 2004, que aprovava el Pla Nacional d'Assignació de drets d'emissió pel període 2005-2007 (BOE de 7.9.2004), que va ser modificat pel Reial Decret 60/2005, de 21 de gener (BOE de 22.1.2005) i pel Reial Decret 777/2006, de 23 de juny (BOE de 24.6.2006). Posteriorment, es va aprovar el Reial Decret 1370/2006, de 24 de novembre, que conté el Pla Nacional d'Assignació de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle per al període 2008-2012 (BOE de 25.11.2006), modificat pel Reial Decret 1030/2007, de 20 de juliol (BOE de 21.7.2007), i pel Reial Decret 1402/2007, de 29 d'octubre (BOE de 30.10.2007). El Consell de ministres va aprovar també el 14 de novembre 2007 l'Acord pel que s'aprova l'assignació individual de drets d'emissió de gasos amb efecte hivernacle a les instal·lacions incloses al Pla Nacional d'Assignació de drets d'emissió 2008-2012 (BOE de 27.11.2007). En el segon Pla Nacional s'estableix com a objectiu global que Espanya no superi en un 37% les emissions de l'any base. Els 22 punts de diferència percentual respecte l'increment del 15% s'han de cobrir mitjançant els embornals (2%) i els mecanismes de flexibilitat del PK (20%).

47. Ministerio de Medio Ambiente, *Inventario de gases de efecto invernadero en España*, Edición 2008 (serie 1990-2006). Sumario de resultados, a http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/pdf/Sumario_inventario_GEI_Espania_ed_2008_serie_1990-2006.pdf, p. 12.

de distribució de competències entre la CE i els seus Estats membres⁴⁸.

Les discussions sobre la reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per al segon període de compromís del PK (2013-2017), que a la Unió Europea representarà també renegociar la distribució de les quotes internes d'emissió per incorporar els dotze nous membres si es manté el mateix percentatge global, o renegociar globalment el percentatge de la «bombolla europea» si no es modifica la distribució de quotes entre els Estats membres, s'han centrat ara com ara i des de fa dos anys en la fixació d'uns objectius globals de reducció.

Pel que fa a la estratègia post-2012, la Unió Europea, sobre la base de la comunicació de la Comissió de 10 de gener de 2007, ha formulat el compromís de reducció en un 20% de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle el 2020 en relació amb els nivells de 1990, recollint així mateix els objectius d'una eventual reducció col·lectiva del 30% el 2020 sempre que la resta de països desenvolupats es comprometin a reduccions comparables. L'objectiu a llarg termini seria el de reduir col·lectivament les emissions entre un 60% i un 80% d'aquí a 2050, si tots els països desenvolupats prenen aquesta iniciativa. El Consell Europeu de 8 i 9 de març de 2007 va subscriure aquests acords, reafirmant la importància d'aconseguir l'objectiu de limitar l'augment de la temperatura mitjana mundial a no més de 2 °C per sobre dels nivells pre-industrials, i exigint un enfocament integrat de les polítiques de canvi climàtic i energètiques. Aquesta, doncs, va ser la posició que la Unió Europea va defensar a la Cimera de Copenhaguen el passat desembre de 2009, i ha estat la que ha continuat mantenint tot i el fracàs d'aquella reunió internacional, que com és sabut, no va poder assolir cap acord obligatori respecte a les reduccions per al període 2012-2017. Cal tenir en compte a més, que en aquesta línia es troben, per part de la Unió Europea, l'adopció de mesures relatives a la inclusió, dintre del sistema, de les emissions produïdes per l'aviació civil, la modificació de la directiva sobre comerç d'emissions, l'adopció

d'un marc legal sobre les tecnologies de captura de carboni i els embornals geològics, i la posada en marxa de la política energètica.

14.1.4.2. Delimitació i abast de les competències comunitàries en matèria de canvi climàtic

a) Determinació de la competència de la UE

La CE, des de l'entrada en vigor del Tractat de Lisboa reconvertida en l'actual UE, ha estat creada per a la consecució de determinats objectius, fet que implica la realització de certes funcions que requereixen una atribució de competències a les institucions encarregades d'executar-les per tal que puguin dur-se a terme. En aquest sentit, només té aquelles competències que li han estat atribuïdes en virtut dels tractats constitutius, expressament o implícitament, i la seva activitat es desplega únicament en els àmbits en què els Estats membres han acceptat transferir l'exercici d'aquestes competències a les institucions comunitàries. Pel que fa al canvi climàtic, el Tractat no conté una única base jurídica que permeti fonamentar l'adopció, de manera general, d'aquest tipus de mesures per part de la que havia estat fins ara la CE i que ara és l'actual UE⁴⁹. Al contrari, en funció de la naturalesa i el contingut de la mesura que el Consell (normalment de manera conjunta amb el Parlament) desitgi adoptar, aquesta institució podrà recórrer a diverses bases jurídiques, com les relatives a la política agrícola, la política fiscal, la política de transport, l'aproximació de legislacions per a la consecució del mercat interior, la política comercial, o la política ambiental. En aquest sentit, la jurisprudència del TJUE ha entès que la base jurídica es determinarà en funció de l'objectiu i la finalitat principal de la disposició que es vol adoptar⁵⁰ i de fet, tot i el seu caràcter transversal, les mesures que la CE ha

48. Dictamen 1/94, de 15.11.1994, Rec. TJCE, 1994, p. I-5267.

49. El nou Tractat de Lisboa, en vigor des de l'1 de desembre de 2009, no canvia substancialment aquesta situació. La principal novetat en l'àmbit que ara ens ocupa ha estat la inclusió de la lluita contra el canvi climàtic com una àrea prioritària de les accions internacionals de la Unió Europea en matèria de protecció del medi ambient. Vegeu l'art. 191 (ex-art. 175) del TFUE (versió consolidada), DO C115, de 9.5.2008.

50. STJCE de 26.3.1987, Comissió c/Consell, as.45/86, Rec. TJCE 1987, p.1493 i STJCE de 2.2.1989, Comissió c/Consell, as.275/87, Rec. TJCE 1989, p. 259.

adoptat fins ara en relació amb el fenomen del canvi climàtic s'han fonamentat, en la seva majoria, en l'art. 175 del TCE, actual article 192 del Tractat de Funcionament de la Unió Europea (des d'ara, TFUE).

b) L'exercici de la competència per part de la UE

Un cop establerta la competència de la UE, es planteja la qüestió de la forma en què aquesta competència s'exercirà, que pot variar en funció de la mesura en què un determinat àmbit d'actuació estigui obert a la intervenció comunitària. Així, en algunes matèries la UE exerceix les seves competències de manera exclusiva. En aquests casos la UE concentra tots els poders de decisió, ja que li correspon la totalitat de funcions normatives i, sovint, també executives, sobre una determinada matèria, si bé en ocasions els Estats membres poden assumir funcions merament executives o de gestió. En altres àmbits, la majoria, la UE no disposa més que d'una competència concurrent i comparteix les funcions normatives amb els Estats membres, de forma que en el procés decisor i en funció de l'abast de la intervenció comunitària, cada un dels dos nivells conserva la seva capacitat pel que fa a les funcions normatives o d'innovació de l'ordenament jurídic, i poden adoptar actes legislatius, administratius o reglamentaris en virtut d'una competència que els pertany com a pròpia.

En l'àmbit del canvi climàtic, la implementació de les disposicions del CMCC i del PK afecta matèries que cauen sota l'àmbit competencial de la UE i dels Estats membres. De fet, en matèria de medi ambient, l'actual art.191.1 del TFUE, que determina l'abast de la competència comunitària, ja estableix que la UE «contribuirà» a la conservació i a la millora de la qualitat del medi ambient. A més, l'art.193 del TFUE fa una reserva expressa del dret dels Estats membres a mantenir o adoptar mesures de major protecció. Per tant, es tracta d'una competència clarament compartida entre la UE i els Estats membres. Una competència compartida l'exercici de la qual, d'altra banda, està subjecte a l'exigència de dos requisits previs, com són el principi de la proporcionalitat en relació amb la intensitat de l'acció comunitària i el principi de la subsidiarietat en

relació amb l'apreciació de la necessitat de la intervenció comunitària.

Per tant, la intervenció comunitària tindrà lloc quan l'acció comuna reforci efectivament les actuacions dels Estats membres per reduir i limitar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, i variarà segons l'àmbit afectat per la mesura. De la seva intensitat també dependrà l'instrument comunitari que s'utilitzi: actes normatius, com els reglaments, les directives o les decisions; instruments de caràcter programàtic, com els programes d'acció i les estratègies; o acords voluntaris amb els sectors particularment implicats per tal d'afavorir la seva participació voluntària en el sistema. Per exemple, la UE té un paper normatiu i executiu molt important en l'àmbit de la política agrícola comuna, en la qual té una competència exclusiva, o en la supervisió de les normes en matèria de dret de la competència, o en el que es refereix al control dels ajuts d'Estat. Això no ha impedit el recurs a actes programàtics, com el Programa Europeu sobre el Canvi Climàtic (EPCC)⁵¹, amb l'objectiu de reforçar i coordinar les polítiques i mesures comunes de nivell comunitari. En altres àmbits, la intervenció comunitària prefereix recórrer a la conclusió d'acords voluntaris, com és el cas dels que han estat subscrits amb alguns dels principals productors d'automòbils.

c) El procediment per a l'adopció de les decisions comunitàries

La preferència per la utilització del que ha estat fins ara l'art. 175 del TCE, actual art. 192 del TFUE, com a base jurídica per fonamentar les actuacions relatives al canvi climàtic, ha determinat també el procediment d'adopció de les decisions en el si del Consell i la participació del Parlament Europeu en aquest procés. Així, en aquest àmbit, el Consell decideix per majoria qualificada i mitjançant el procediment de codecisió amb el Parlament Europeu, que garanteix la participació d'aquesta institució. Això no obstant, el TFUE manté concessions importants al poder dels Estats membres per delimitar prèviament els principis i el desenvolupament de la política ambiental comunitària. El segon paràgraf

51. COM(2000)88, de 08.03.2000.

de l'actual art. 192 del TFUE, com feia l'antic art. 175 del TCE, recull una excepció significativa a l'exigir la unanimitat del Consell i disposar la simple consulta al Parlament Europeu en l'adopció de decisions relatives a les disposicions de caràcter fiscal, les mesures d'ordenació territorial i d'ús del sòl, les mesures relatives a la gestió dels recursos hídrics, i les mesures relatives a l'elecció de fonts d'energia i a l'estructura general del seu abastiment. En aquests casos, l'adopció de les mesures comunitàries depèn encara exclusivament de la voluntat dels executius dels Estats membres i queda sotmesa a la possibilitat del vet per part de qualsevol d'ells. Això és, per exemple, el que va succeir amb la proposta de Directiva relativa a la introducció d'una taxa per a les emissions de diòxid de carboni i l'energia, que es va presentar el 1992 i que va haver de retirar finalment la Comissió per la forta oposició d'alguns dels Estats membres (d'una banda, els països de la «cohesió» —Espanya, Grècia, Portugal i Irlanda— reclamaven finançament estructural addicional per acceptar la proposta; de l'altra, França rebutjava l'aplicació de la taxa al sector de l'energia nuclear; i finalment, el Regne Unit considerava més apropiat la implantació de la taxa a nivell nacional).

La determinació del mecanisme per a l'adopció de les decisions comunitàries en el context del canvi climàtic no és, doncs, una qüestió irrelevant. Una altra mostra de la seva importància es troba, per exemple, en els debats que van precedir la ratificació per la CE del CMCC i del PK. En principi, i d'acord amb l'actual art. 218 del TFUE, el Consell, igual que ho fa respecte a l'adopció de les normes internes en matèria de política ambiental, ha de decidir la ratificació dels acords internacionals per majoria qualificada, a menys que l'acord afecti un àmbit que exigeixi, per l'adopció de normes internes, la unanimitat. Atès que, com ja s'ha esmentat, el paràgraf segon de l'art. 192 del TFUE requereix un pronunciament per unanimitat, i que el règim del canvi climàtic afecta el sector energètic i pot tenir una incidència en l'aplicació de mesures fiscals, alguns Estats membres, principalment el Regne Unit i França, van reclamar l'aplicació d'aquest mecanisme de votació per decidir la conclusió dels dos acords internacionals per part de la CE.

Finalment, la qüestió es va resoldre per la via de l'acord polític en el si del Consell⁵², i la decisió sobre la ratificació dels acords es va produir, tant en un cas com en l'altre, per majoria qualificada⁵³.

14.1.4.3. L'adopció d'instruments comunitàris relatius al canvi climàtic

En exercici de les seves competències, la UE ha adoptat, per tal d'assolir els nivells de reducció d'emissions acordats, instruments i mesures de caire programàtic però també normes concretes amb un contingut d'obligacions precís dirigit als Estats membres. A la vegada, i amb la voluntat d'assolir un lideratge a nivell internacional, també ha desplegat la seva activitat per facilitar i promoure la posada en marxa del PK.

a) Mesures de caràcter programàtic

i) Estratègia de la UE per al Desenvolupament Sostenible⁵⁴

Presentada per la Comissió al Consell Europeu de Gøteborg el juny del 2001, l'Estratègia s'articula en tres grans pilars: propostes i recomanacions per tal de millorar l'efectivitat i l'eficàcia de l'acció comunitària en el marc del desenvolupament sostenible; establiment d'objectius i fites específiques a la CE, i la implementació i revisió de l'estratègia. En matèria de canvi climàtic es recullen diverses mesures: la reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle un 1% respecte del nivell de 1990, cada any fins el 2020; l'establiment d'objectius ambientals específics en relació amb la imposició tributària sobre l'energia; la supressió progressiva fins el 2010, dels subsidis a la producció i al consum de combustibles fòssils, i la utilització, el 2010, d'un 7% de combustibles alternatius en el consum d'automòbils.

52. 2413th European Council of Environmental Ministres, Brussels, 4.3.2002, a <http://ue.eu.int/en/summ.htm>.

53. Decisió del Consell 94/69/CE, de 15.12.1993 relativa a la conclusió del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DO L 33, de 7.2.1994; i decisió del Consell 2002/358/CE, de 25.4.2002, relativa a l'aprovació, en nom de la CE, del Protocol de Kyoto al Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, DO L 130, de 15.5.2002.

54. <http://europa.eu.int/comm/environment/eussd/index.htm>.

ii) Sisè Programa d'Acció Ambiental⁵⁵

El Sisè Programa de 2001, adoptat per mitjà de la decisió del Parlament Europeu i del Consell 1600/2000/CE, emfasitza la necessitat de l'actuació comunitària en matèria de canvi climàtic. A curt termini, l'objectiu era garantir la reducció d'emissions un 8% respecte dels valors de 1990 per al primer període de compromís. A llarg termini, la Comunitat es comprometia a una reducció global de les emissions d'un 20% a un 40% respecte als nivells de 1990. Per dur a terme aquests objectius, el Programa regula la preparació de tota una sèrie d'accions: l'establiment d'un sistema de comerç d'emissions de CO₂ d'àmbit comunitari; l'elaboració d'un inventari dels subsidis nacionals a l'energia i l'examen de la seva compatibilitat amb els objectius del canvi climàtic; la promoció i el suport al desenvolupament de fonts d'energia renovable, per mitjà de directives comunitàries; la utilització d'instruments de mercat; la promoció de l'estalvi d'energia i de l'eficiència energètica; la promoció dels acords voluntaris per a la reducció d'emissions; la identificació d'accions per a la reducció d'emissions procedents de l'aviació civil, i el desenvolupament i la promoció d'accions de R+DT a nivell comunitari.

iii) Programa Europeu sobre el Canvi Climàtic⁵⁶ (EPCC)

El primer EPCC (2000-2005) identifica els elements de l'estratègia europea, amb l'objectiu de reforçar i coordinar les polítiques i mesures en matèria de canvi climàtic al nivell comunitari, suplementàries a les que adoptin els Estats membres per complir els compromisos adquirits en virtut del PK. L'estratègia que recull el programa és doble: d'una banda, l'establiment d'un sistema de comerç d'emissions dins de la CE; de l'altra, l'adopció de mesures prioritàries en l'àmbit de l'energia, la indústria i els transports. En principi, l'abast de l'EPCC I es limita a les accions necessàries per a l'assoliment de la quota de reducció comunitària del -8%, però també preveu actuacions amb una perspectiva a mitjà i a llarg termini, que comprenen des de la cooperació

internacional per a la transferència de tecnologia fins a les accions de formació i educació en matèria de canvi climàtic.

En la seva primera fase (2000-2001)⁵⁷, el Programa identifica i preveu un conjunt d'accions prioritàries a dur a terme en els anys 2002-2003. Entre altres mesures de caràcter sectorial, s'hi incloïa la implementació de diverses actuacions de caràcter transversal: l'adopció d'una directiva sobre comerç, d'emissions, la promoció de l'aplicació efectiva de la directiva IPPC, la revisió de la directiva sobre un mecanisme de supervisió de les emissions de CO₂ i altres gasos amb efecte d'hivernacle⁵⁸, i l'adopció d'una directiva sobre mecanismes basats en la realització de projectes, inclosos el compliment conjunt i el MDN⁵⁹. Des d'una perspectiva sectorial, per exemple, i en l'àmbit energètic, es preveia l'adopció d'un marc normatiu específic en relació amb els requisits mínims d'eficiència energètica per als equips d'ús final, la gestió de la demanda energètica, la promoció dels sistemes combinats d'escalfament i potència; i en l'àmbit de la indústria, l'adopció d'una directiva sobre gasos fluorats⁶⁰. En la segona fase de l'EPCC I (2002-2003), el programa d'implementació, amb l'objectiu d'abonar la realització de les prioritats identificades en la primera fase, se centra en els mecanismes de flexibilitat, l'agricultura, els receptors i dipòsits, i els boscos.

El 24 d'octubre de 2005, la Comissió va adoptar el Segon Programa Europeu sobre el Canvi Climàtic (EPCC II)⁶¹, que ha estat treballant en diverses línies: la revisió de l'EPCC I, les emissions de les activitats de l'aviació, les emissions de CO₂ procedents dels automòbils, la captura i l'emmagatzematge de CO₂, els aspectes vinculats amb les mesures d'adaptació al canvi climàtic, i la revisió del sistema de comerç d'emissions.

b) Desenvolupament de mesures de caràcter normatiu

1) Inventari Europeu d'Emissions Contaminants

57. COM(2001)580, de 23.10.2001.

58. COM(2003)51, de 5.2.2003.

59. COM(2003)403, de 23.7.2003.

60. COM(2003)492, de 11.8.2003.

61. COM(2005) 35, de 9.2.2005.

55. DO L 24, de 10.9.2002.

56. COM(2000)88, de 8.3.2000.

(IEEC/EPER: *European Pollution Emissions Register*)⁶²

La directiva 96/61/CE, de 24 de juny 1996⁶³, relativa a l'establiment d'un sistema integrat de control de la contaminació, estableix la publicació per part de la Comissió, cada tres anys i sobre la base de la informació transmesa pels Estats membres, d'un inventari de les principals emissions a l'aire, a l'aigua i al sòl, així com de les fonts de procedència. L'inventari recull les emissions i els abocaments de les instal·lacions situades en territori comunitari que realitzin alguna de les activitats que figuren a l'annex I de la directiva IPPC, si bé d'entrada únicament cobreix, a partir de determinats llindars, un número limitat de substàncies, i es nodreix de la informació prèviament tramesa pels Estats membres. D'acord amb la decisió que els regula, els Estats hauran d'informar a la Comissió de les emissions. Cada tres anys, essent el primer a juny de 2003, hauran de presentar un informe general a la Comissió amb les dades sobre les emissions del 2001 o, a manca d'aquestes dades, referint-se al 2000 o 2002). El següent any serà doncs, el 2006, i cobrirà les emissions del 2004. Aquestes dades són accessibles i disponibles, des de febrer de 2004, per la via del registre públic EPER, que proporciona ja actualment tota la informació sobre les majors activitats industrials⁶⁴. D'altra banda, l'inventari compleix una doble funció: l'inventari pot prioritzar les fonts contaminants més importants en interès de la transparència, al mateix temps que les dades d'emissió enregistrades poden fer-ne un instrument per a la política ambiental.

2) La Directiva 2003/87/CE, de 13 d'octubre 2003, per la qual s'estableix un règim per al comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat⁶⁵ i la seva modificació per la directiva 2009/29/CE, de 23 d'abril de 2009⁶⁶

L'objectiu de la Directiva 2003/87/CE és l'establiment d'un marc legal per incentivar les reduccions de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, a partir de la fixació d'uns sostres nacionals d'emissió i d'un mecanisme de transaccions de drets d'emissió (*cap and trade*). Això s'ha de fer d'acord amb una relació cost-efectivitat positiva i en unes condicions d'eficiència econòmica. La seva pretensió principal, doncs, és constituir una base sòlida per al mercat mundial de CO₂ i altres gasos amb efecte d'hivernacle. Com ja s'ha dit abans, però, cal tenir en compte que en realitat aquesta possibilitat de transacció dels drets d'emissió no representa clarament una reducció de les emissions de gasos pels països que hi participen sinó que més aviat permet mantenir-les o inclús incrementar-les respecte a les emissions reals que s'haurien produït en absència de la possibilitat de comerciar amb elles.

La directiva del 2003 integra en l'àmbit comunitari els sistemes nacionals de seguiment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i l'assignació de quotes d'emissió i drets d'emissió per tal de permetre la participació dels operadors econòmics al sistema mundial de comerç d'emissions previst al PK a partir del 2008. Amb aquesta finalitat, la directiva estableix dues fases diferents, en les que s'exigia l'elaboració de Plans Nacionals d'Assignació de drets d'emissió per part dels Estats membres. La primera fase cobria el període pilot 2005-2008, en el que el comerç de drets d'emissió es produïa únicament a escala comunitària, i afectava només a l'assignació de quotes de CO₂. El segon període previst a la directiva coincidia ja plenament amb el primer període de compromís establert pel PK (2008-2013) i s'ampliava a la resta de gasos (CO₂ equivalent).

La data per a la presentació dels primers plans nacionals era el 31 de març de 2004 (per al període 2005-2008); per a la segona fase (període 2008-2012), els Estats membres havien de tenir llestos els plans nacionals el 30 de juny de 2006. Pel que fa a la primera fase, la brevetat dels terminis previstos va provocar importants retards en la presentació dels plans nacionals i la seva avaluació per la Comissió⁶⁷. Aquestes primeres

62. Decisió de la Comissió 2000/479/CE, de 17 de juliol de 2000, relativa a la realització d'un inventari europeu d'emissions contaminants (EPER) d'acord amb l'article 15 de la Directiva 96/61/CE del Consell relativa a la prevenció i al control integrats de la contaminació, DO L 192, de 28.7.2000

63. DO L 257, de 10.10.1996

64. L'accés a l'EPER és disponible a la pàgina web <http://eper.eea.eu.int/eper>, i també a la pàgina web espanyola <http://www.eper-es.com>

65. DO L275, de 25 d'octubre 2003.

66. DO L140, de 5.6.2009.

67. Vid. les Comunicacions de la Comissió de 7 de juliol de 2004; 20 d'octubre de 2004; 8 de març de 2005; Vid., per a totes, DO C 226 de 15.9.2005 i http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/emission_plans.htm.

avaluacions van mostrar dos problemes importants: d'una banda, l'assignació excessiva de drets d'emissió, superiors a les necessàries, segons el parer de la Comissió, per donar compliment a les obligacions establertes al PK; de l'altra, les adaptacions *a posteriori*, és a dir, la previsió per part dels Estats membres d'ajustos un cop realitzat el procés d'assignació dels drets d'emissió i la seva possible redistribució entre els operadors econòmics participants. Es van constatar també diferències significatives respecte a altres elements dels plans nacionals, com la identificació de les instal·lacions, la situació de les empreses que entren al mercat un cop aquest ja està operatiu (*new entrants*), l'agrupació d'instal·lacions (*pooling*) només en determinats Estats membres, les diferències en les transferències de les assignacions dels drets no utilitzats d'un període a l'altre (*banking*), o els mecanismes de control i verificació de les transferències dels drets d'emissió.

Respecte a la segona fase, el 30 de juny de 2006 molt pocs dels Estats membres havien presentat el seu pla nacional⁶⁸, i no va ser fins l'octubre de 2007 que la Comissió va poder finalitzar-ne l'examen⁶⁹. En aquesta ocasió, els problemes més significatius feien referència de nou a l'establiment d'un límit coherent amb el compromís assumit per cada Estat membre d'acord amb el PK i amb el seu potencial de reducció; a les adaptacions *a posteriori*, i a l'exigència de complementarietat en relació amb els mecanismes de projecte de l'AC i el MDN. La Comissió va assenyalar també altres dificultats en relació amb l'execució de la subhasta del 10% dels

drets assignats pels Estats membres, que va significar la concessió de certs avantatges econòmics a algunes empreses i l'aplicació de garanties d'assignació de la primera fase per fer-les efectives en els plans corresponents a la segona fase.

En relació amb les instal·lacions que se sotmeten al règim establert per la directiva, aquesta afecta el sector de l'energia —generació i cogeneració i altres instal·lacions de combustió de potència tèrmica superior a 20MW—, refineries, producció i transformació de metalls, indústria mineral i siderúrgica, ciment, vidre, ceràmica, pasta de paper, paper i cartó, i producció de productes químics d'acord amb el que disposa el seu annex I. A partir de l'1 de gener de 2012 s'hi inclouen també les emissions de les activitats del sector de l'aviació, en virtut de la directiva 2008/101/CE, de 19 de novembre de 2008, que modifica la directiva del 2003⁷⁰.

La determinació inicial dels sectors afectats per la directiva i l'assignació de quotes d'emissió van suscitar certes reticències per part dels operadors econòmics pel que fa a la seva conformitat amb els principis que inspiren les disposicions del Tractat i més particularment respecte a la seva compatibilitat amb el principi de la igualtat de tractament. S'ha d'assenyalar, però que el Tribunal de Justícia ja s'ha pronunciat de manera negativa en un reenviament prejudicial del Consell d'Estat francès en el qual es qüestionava la legalitat de la directiva 2003/87/CE a l'establir-se una diferència de tractament entre la indústria del sector siderúrgic, dins de l'àmbit d'aplicació de la directiva, i el sector químic i dels metalls no ferrosos (en el cas, sectors del plàstic i l'alumini que només es van incorporar posteriorment a la directiva). En aquesta sentència, el Tribunal de Justícia admet l'existència d'una diferència de tractament però entén que, atès el caràcter progressiu de la directiva de l'any 2003 i la utilització de criteris que es fonamentaven en les dades tècniques disponibles en el moment de la seva adopció, aquesta diferència de tractament està justificada. Considera en definitiva que la diferència de tractament es basa en un criteri objectiu i raonable en relació amb una finalitat

68. Això va motivar l'inici del procediment d'infracció per part de la Comissió, que va actuar contra Àustria, Bèlgica, Xipre, la República Txeca, Dinamarca, Finlàndia, Hongria, Letònia, Malta, els Països Baixos, Portugal, Eslovènia, Eslovàquia, Espanya, Itàlia, Estònia, Luxemburg, França, Alemanya, Polònia i Suècia. Vid. IP/06/1763, <<http://europa.eu/rapid/press>>. Per als plans nacionals dels Estats membres per la segona fase, Vid. la Comunicació de la Comissió COM(2006)725, de 29.11.2006, i les decisions de la Comissió de 2 d'abril de 2006, 16 de gener de 2007, 5 de febrer de 2007, 26 de febrer de 2007, 26 de març de 2007, 16 d'abril de 2007, 4 de maig de 2007, 15 de maig de 2007, 4 de juny de 2007, 18 de juliol de 2007, 31 d'agost de 2007, 18 d'octubre de 2007 i 26 d'octubre de 2007, totes a http://ec.europa.eu/environment/climat/2nd_phase_ep.htm.

69. COM(2006)725, de 20.11.2006.

70. DO L 8, de 13.1.2009.

legalment admissible i és proporcionada a l'objectiu que es persegueix⁷¹.

La directiva preveu també la possibilitat d'exclusió temporal de certes instal·lacions del règim comunitari, prèvia autorització expressa de la Comissió, i l'assignació de drets d'emissió addicionals en casos de força major. Permet igualment l'agrupació d'instal·lacions (*pooling*), el que permet que diferents operadors que duguin a terme la mateixa activitat puguin agrupar les seves assignacions de drets d'emissió respectives. Si bé no es menciona de forma expressa, no s'impedeix tampoc la possibilitat, d'acord amb l'art. 13 del PK, de transferir (*banking*) al període de compromís següent (2013-2017) aquelles assignacions que no s'hagin utilitzat en el primer període de compromís del PK, si bé aquesta possibilitat està subjecta als criteris establerts per la Setena Conferència de les Parts del CMCC a Marràqueix⁷². Pel que fa a l'assignació dels drets d'emissió, la directiva de 2003 optava clarament per un sistema d'assignació gratuïta (*grandfathering*), essent aquesta també l'opció preferida pels Estats membres pel seu baix cost. La directiva preveia però la possibilitat d'assignació per subhasta d'un 5% dels drets d'emissió en el primer període pilot, que s'ampliava a un 10% en el període 2008-2012. La regulació es completa amb la previsió que tots els Estats membres creïn i mantinguin un registre de drets d'emissió, controlable per un administrador central de la Comissió que s'ocuparà del registre independent de les transaccions⁷³, i l'establiment de sancions per als supòsits d'incompliment de les quotes d'emissió per part dels operadors econòmics.

La directiva estableix les diferents formes d'utilització d'aquests drets d'emissió. Així, aquests drets es poden:

a) Transferir entre persones físiques o jurídiques dins la CE UE, o que es trobin en tercers

Estats (s'entén que hagin ratificat el PK, que figurin en el seu annex B i que compleixin els requisits d'elegibilitat) amb qui la CE UE hagi conclòs acords amb aquest fi, o amb qui, en absència d'acord, la CE UE hagi establert un mecanisme de reconeixement dels drets d'emissió.

b) Cancel·lar en qualsevol moment a petició dels seus titulars. En principi no s'exclou la possibilitat de que altres persones interessades, com per exemple una ONG, puguin comprar drets d'emissió i després cancel·lar-los, reduint així el nombre total de drets disponibles, ja que si bé no es poden assignar drets d'emissió a les instal·lacions no cobertes per aquest mecanisme, res no impedeix que qualsevol persona física o jurídica pugui comprar-los. En qualsevol cas, els Estats membres vetllaran perquè els drets d'emissió puguin transferir-se entre persones en la UE i de tercers països en què es reconeixin, i que es reconeixin en qualsevol cas els drets d'emissió expedits per una altra autoritat competent d'un Estat membre.

Pel que fa al control del compliment de la directiva, s'estableix l'obligació dels Estats membres d'elaborar un informe anual. Entre altres aspectes, aquests informes s'han de referir als arranjaments i al funcionament del sistema d'assignació, als registres, a l'aplicació dels mecanismes de monitoratge, informació i verificació, així com a les mesures relatives al tractament fiscal de les unitats de reducció.

La Directiva 2003/87/CE ha estat modificada⁷⁴, fins ara, en tres ocasions: per la Directiva 2004/101/CE, del 27 d'octubre de 2004⁷⁵, per la qual es vincula el sistema de comerç d'emissió comunitari amb els mecanismes de projecte del PK; per la Directiva 2008/101/CE, de 19 de novembre de 2008⁷⁶, que incorpora les activitats de l'aviació dins de l'esquema de comerç d'emissions comunitaris; i finalment, per la Directiva 2009/29/CE⁷⁷, de 6 d'abril de 2009, que revisa el sistema fixat el 2003 i incorpora al cabal comunitari

71. STJUE de 16.12.2008, As. C-127/07, Société Arcelor Atlantique et Lorraine i altres / Premier ministre, Ministre de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Ministre de l'Écologie et du développement durable, a <http://curia.europa.eu/>, Rec. 2008.

72. Doc. FCCC/CP/2001/13/Add.2.

73. Vid. Reglament (CE) n.º 2216/2004 de la Comissió, de 21 desembre 2004, DO L 386, de 29.12.2004 i «Community Independent Transaction Log» (CITL), a <http://ec.europa.eu/environment/ets>.

74. Pot veure's la versió consolidada de la directiva 2003/87/CE a <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:02003L0087-20090625:EN:NOT>.

75. DO L 338, de 13.11.2004.

76. DO L 8 de 13.1.2009.

77. DO L 140, de 5.6.2009.

el nou paquet Energia i Canvi Climàtic⁷⁸ amb la voluntat d'adequar el sistema de comerç d'emissions comunitari a l'objectiu de reducció del 20% de les emissions l'any 2020⁷⁹. La nova directiva 2009/29/CE estableix les mesures necessàries per tal que els Estats membres puguin assolir, el 2020, una reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle del 20% respecte l'any de referència de 1990 en els sectors determinats per la Directiva 2003/87/CE. En aquells altres sectors no coberts per la directiva (transport, activitats domèstiques, agricultura i residus) s'espera assolir l'any 2020, una reducció del 10% respecte a les emissions de l'any 2005.

La nova directiva introdueix algunes modificacions importants. D'una banda, en relació amb la utilització dels crèdits (RCE i URE) obtinguts mitjançant els mecanismes de projecte del PK, limita el volum de crèdits que poden utilitzar-se al 50% de les reduccions, si bé admet la possibilitat d'una quantitat addicional (les instal·lacions fixes existents podran recórrer al màxim entre la quantitat no consumida per a 2008-2012 i l'11% de l'assignació 2008-2012, que podrà ser superada si es van establir el 2008-2012 una assignació i quotes més restrictives; els nous entrants i les noves activitats podran utilitzar un crèdit fins el límit del 4,5% de les emissions verificades; l'aviació podrà utilitzar aquests crèdits fins un límit de l'1,5% de les emissions verificades). D'altra banda, els Estats membres podran utilitzar els crèdits dels mecanismes de projecte fins a arribar a la quantitat corresponent al 3% de les seves emissions el 2005 i de manera addicional un 1% si compleixen alguna de les següents condicions: si els costos directes del paquet global

sobrepassen el 0,70% del PIB; si es produeix un increment al menys d'un 0,1% del PNB entre l'objectiu realment aprovat per l'Estat membre que es tracti i l'escenari rendible que es despenngui de l'avaluació de la Comissió; si més del 50% del total de les emissions regulades es comptabilitzen a partir d'emissions relacionades amb el transport; si l'Estat membre té un objectiu d'energies renovables superior al 30%. També es preveu, però, que a partir de l'1 de gener de 2013 es puguin aplicar mesures per restringir la utilització de crèdits específics corresponents a tipus de projectes, si bé aquestes mesures s'han d'adoptar per comitologia.

La nova directiva ha modificat igualment l'assignació dels drets d'emissió. A la primera (2003-2005) i la segona (2005-2008) fase del sistema de comerç d'emissions comunitari s'encomanava a cada Estat membre el desenvolupament del pla nacional en el qual es determinava la quantitat total de drets d'emissió que col·locava en el mercat per al període concret (decisió que depenia de fet en el compromís de reducció assumit en el marc de la «bombolla europea»). En les dues primeres fases, els plans nacionals afectaven d'aquesta manera els sectors establerts a l'annex I de la Directiva 2003/87/CE i, pel que fa als gasos coberts pel sistema, principalment al CO₂; ara s'amplia l'abast dels gasos coberts pel sistema, que a partir del 2012 ja cobrirà els sis gasos tinguts en compte al PK. D'altra banda, la directiva de 2009 disposa ara que a partir del 2013, la Comissió establirà anualment la quantitat de drets d'emissió per al conjunt de la Comunitat, quantitat que s'anirà reduint mitjançant un factor lineal de l'1,74% respecte la mitjana de la quantitat total anual dels drets d'emissió expedits pels Estats membres en els seus plans nacionals per al període 2008-2012 (el que ha de donar com a resultat, si es compleix, una reducció global del 20% respecte a les emissions de 2020). Igualment, els Estats membres hauran de subministrar informació addicional abans del 30 d'abril de 2010 respecte a les instal·lacions no enumerades a l'annex I que decideixin incloure de manera unilateral (art. 24.1) i les instal·lacions o activitats que s'inclouen a l'annex I a partir de 2013.

Finalment, també s'ha produït un canvi respecte a l'adquisició dels drets d'emissió. En la

78. Comunicació de la Comissió « 20 20 by 2020: Europe's climate change opportunity », COM(2008) 30 final, de 23.1.2008.

79. Aquests canvis implicaran la modificació de la normativa espanyola. El Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Mari ja ha elaborat un esborrany d'avantprojecte de Llei per a la modificació de la Llei 1/2005, actualment en procés d'informació pública. Vid. «Anteproyecto de Ley por el que se modifica la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero para reformar el régimen general de comercio de derechos de emisión e incluir la aviación en el mismo», a http://www.mma.es/secciones/participacion_publica/cambio_climatico/pdf/apl_comercio_emisiones.pdf.

primera fase, els Estats membres podien assignar fins un 95% dels drets d'emissió de manera gratuïta, que a la segona fase es reduïa a un 90%. Aquesta pràctica, tot i les crítiques que ha rebut, ha facilitat clarament la introducció del sistema de comerç d'emissions dins de la Unió Europea. El criteri d'assignació que de manera més freqüent han utilitzat els Estats membres ha estat el «Business as usual», el de les emissions històriques, el creixement potencial del sector, o una combinació d'aquests criteris. D'acord amb la nova directiva, en canvi, en la tercera fase i a llarg termini, la subhasta dels drets d'emissió ha de substituir, de fet, la seva assignació gratuïta com a sistema prioritari d'assignació dels drets d'emissió. Així, es preveu la introducció gradual de la subhasta per als sectors industrials no exposats a deslocalització⁸⁰: un 20% el 2013, arribant fins al 70% el 2020, amb l'objectiu d'arribar al 100% el 2027. La reglamentació relativa a aquestes subhastes, però, queda pendent d'un reglament que haurà d'adoptar la Comissió abans del 30 de juny de 2010.

Altres elements del règim de comerç d'emissions, com per exemple la manera d'incorporar el sistema de subhasta i les regles d'assignació gratuïta, la definició de les instal·lacions que són grans consumidores d'energia en cas de fugida de carboni, les orientacions sobre la metodologia d'assignació a sector elèctric, les mesures que es podran aplicar a partir de 2013 per a restringir la utilització de crèdits específics corresponents a tipus de projectes o el criteri de selecció dels projectes de captura i emmagatzemament de CO₂ s'han de decidir a posteriori mitjançant els procediments de la comitologia.

3) *La Directiva 2004/101/CE, de 27 d'octubre de 2004, per la qual s'estableix un sistema d'intercanvi de quotes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle dins de la CE, en el marc dels mecanismes de projecte del Protocol de Kioto*⁸¹

La Directiva *linkage* 2004/101/CE vincula l'obtenció dels ERU i els RCE que es deriven de

la posada en marxa dels mecanismes de l'AC i del MDN del PK, amb els drets que es generen en el marc de l'esquema comunitari de comerç d'emissions. Els ERU i RCE poden, sota certes premisses, convertir-se en drets d'emissió per al seu ús en el règim comunitari de comerç d'emissions. Es tracta, en definitiva, d'equiparar aquestes unitats a les quotes d'emissió comunitàries, de manera que els titulars de les empreses que participen en un d'aquests mecanismes puguin fer servir el sistema de comerç d'emissions comunitari per al compliment de les seves obligacions. En termes generals, l'objectiu és, doncs, facilitar l'articulació de mitjans suplementaris per promoure el recurs a aquests mecanismes per part dels operadors econòmics, i alhora s'assoleix una disminució del cost de la reducció de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle.

La directiva preveu que els Estats membres adoptin diverses mesures per tal de garantir que el mecanisme sigui emprat per a projectes adequats, així com la correcta conversió al règim de comerç europeu. D'aquesta manera, per exemple, per tal d'assegurar que també es redueixen les emissions en els Estats membres i que el recurs als mecanismes de flexibilitat que permeten el projectes AC i MDN és realment suplementari a les mesures nacionals (és a dir, que la reducció no s'assoleix únicament mitjançant la participació en projectes AC o MDN), la directiva preveu la seva revisió automàtica un cop que els ERU i els RCE convertits pel seu ús en el règim comunitari de comerç d'emissions assoleixin el 6% de la quantitat total dels drets assignats pels Estats membres. També es preveu l'adopció de mesures per evitar la doble comptabilitat de les emissions cobertes per la directiva de 2003 i les reduccions d'emissions resultants de projectes, així com l'exclusió d'aquest sistema dels crèdits generats per determinats projectes (projectes que no generen una reducció permanent de les fonts d'emissió, projectes que poden tenir repercussions importants en la biodiversitat, projectes relatius a l'ús del sòl i la silvicultura, projectes vinculats a les activitats de les centrals nuclears, a més d'importantes limitacions per projectes vinculats a les activitats de les centrals hidroelèctriques). Així mateix, només es permet l'autorització de les activitats de projectes si tots els participants tenen la seva seu bé en un

80. La determinació dels sectors exposats a deslocalització es va portar a terme a partir del 31 de desembre de 2009. Es portarà a terme una revisió del conjunt de sectors cada cinc anys.

81. DO L338, de 13.11.2004.

Estat amb el qual hi ha un acord internacional relatiu a aquests projectes, bé en un país o entitat subestatal vinculat al règim comunitari del comerç d'emissions. Els Estats membres hauran de facilitar la informació pública de les activitats de projectes en què un Estat participi o autoritzi a participar a entitats privades o públiques.

4) *La Directiva 2008/101/CE, de 19 de novembre de 2008 per la qual es modifica la directiva 2003/87/CE per incloure les activitats d'aviació en el règim comunitari de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte hivernacle*⁸²

La Directiva 2008/101/CE integra les emissions de les activitats del sector de l'aviació en el règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. En particular, preveu la inclusió en el sistema dels vols amb origen o destinació en un aeroport comunitari a partir de l'1 de gener de 2012, designa els explotadors de les aeronaus com a les entitats encarregades de complir les obligacions imposades pel règim comunitari, estableix l'administració dels drets d'emissió d'aquests operadors en els Estats membres, i harmonitza els mètodes d'assignació dels drets d'emissió en aquest sector. D'aquesta manera, la directiva, que serà d'aplicació tant als operadors aeris comunitaris com de països tercers, preveu l'assignació de drets d'emissió comercialitzables a les companyies aèries, en funció del seu percentatge històric de tràfic. La Comissió Europea va adoptar el 5 d'agost de 2009 el llistat dels operadors aeris que realitzen una activitat aèria rellevant als efectes de la directiva des de gener del 2006 i especifica l'Estat membre que administra les emissions de cadascun d'aquests operadors⁸³.

5) *La Directiva 2009/31/CE de 23 d'abril de 2009 sobre l'emmagatzemament geològic de CO₂*⁸⁴

La Directiva 2009/31/CE estableix el marc jurídic i tècnic comunitari per a la captació, transport i injecció i emmagatzemament permanent del CO₂ en estructures geològiques com vetes de petroli o de gas natural, aqüífers salins i vetes de carbó sense explotar, en condicions de seguretat per a les persones i el medi ambient.

6) *La Decisió 280/2004/CE, de 11 de febrer 2004, relativa a un mecanisme de seguiment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat i de l'aplicació del Protocol de Kyoto*⁸⁵

Aquesta decisió substitueix la Decisió del Consell 93/389/CE relativa a l'establiment de mecanismes de supervisió de les emissions de CO₂ i altres gasos amb efecte d'hivernacle, modificada per la Decisió 1999/296/CE⁸⁶. La nova decisió estableix el mecanisme de seguiment de les emissions antropogèniques amb efecte d'hivernacle i l'avaluació dels compromisos adquirits per la CE i els Estats membres, permet l'harmonització futura de la informació relativa a les previsions d'emissions de l'una i dels altres, i adapta aquest mecanisme a les exigències d'informació i a les orientacions polítiques establertes en aquesta matèria per la Conferència de les Parts a Marràqueix i Bonn. En particular, amb la seva aprovació es pretén reforçar la cooperació i coordinació entre els Estats membres per compilar l'inventari de gasos amb efecte d'hivernacle, i determinar l'avaluació dels avenços i els procediments d'examen i compliment que permeten que la Comunitat compleixi les seves obligacions internacionals relatives a la presentació d'informes.

La decisió exigeix també que els Estats membres informin a la Comissió, abans del 15 de gener de cada any (amb la possibilitat de sotmetre dades actualitzades o addicionals abans del 15 de març de cada any), dels avenços demostrables que s'hagin produït fins aleshores respecte les emissions de gasos⁸⁷, la comptabilització d'aquests emissions, la informació relativa als

82. DO L8, de 13.1.2009.

83. Reglament (CE) N. 748/2009 de la Comissió, de 5 d'agost de 2009, sobre la llista d'operadores d'aeronaus que han realitzat una activitat d'aviació enumerada a l'annex I de la Directiva 2003/87/CE l'1 de gener de 2006 o a partir d'aquesta data, en què s'especifica l'Estat membre responsable de la gestió de cada operador, DO L 219, de 22.8.2009.

84. DO L 140 de 5.6.2009.

85. DO L 49, de 19.2.2004.

86. DO L 167, de 9.7.1993 i DO L 117, de 5.5.1999.

87. Incloent, entre d'altres punts, referència expressa a quins organismes legals han estat autoritzats per participar en els mecanismes previstos als articles 6 i 12 del PK. (article 3.1.h de la proposta).

inventaris i els registres nacionals, etc., per tal de permetre a la institució comunitària l'elaboració de l'informe anual obligatori que la CE ha de presentar davant dels òrgans del CMCC, conjuntament amb els informes nacionals, abans de l'1 de gener de 2006. A partir de les dades que subministren els Estats membres, es preveu també l'elaboració anual per part de la Comissió de l'inventari comunitari dels gasos amb efecte d'hivernacle que la CE també ha de presentar davant dels òrgans del CMCC, pel qual es requeria que els Estats membres establissin, abans del 31 de desembre de 2005, els sistemes d'inventaris nacionals d'acord amb les disposicions del PK. Igualment, els Estats membres havien de remetre a la Comissió, per primer cop abans del 15 de març de 2005 i cada dos anys des d'aleshores, la informació relativa als avenços demostrables pel que fa a les polítiques i mesures nacionals, amb les previsions nacionals d'emissió. Per últim, s'estableix un Registre europeu (coordinat amb els registres estatals) per garantir la comptabilització exacta de l'emissió, manteniment, transferència, anul·lació i retirada de les unitats de quantitats atribuïdes, unitats d'absorció, URE i RCE. Aquests registres incorporaran els registres que cal establir d'acord amb la directiva ETS. Es permet que els Estats membres i la CE puguin portar els registres de forma consolidada amb un o més Estats membres.

7) Altres mesures comunitàries vinculades amb el règim del canvi climàtic

El Programa plurianual de foment de l'eficiència energètica (SAVE)⁸⁸; la Decisió relativa al foment de les energies renovables (ALTENER)⁸⁹; la Directiva 2001/77/CE de setembre de 2001 sobre la promoció de l'electricitat generada a partir de fonts d'energia renovables en el mercat interior de l'electricitat⁹⁰; la Directiva 2003/30/CE de 8 de maig de 2003 relativa al foment de l'ús de biocarburants o altres combustibles renovables en el transport⁹¹, el reglament (CE) N. 443/2009, de 23 d'abril de 2009, pel qual s'estableixen nor-

mes de comportament en matèria d'emissions dels turismes nous com a part de l'enfocament integrat de la Comunitat per reduir les emissions de CO₂ dels vehicles lleugers⁹², o la proposta de la Comissió orientada a imposar una retallada d'un 10% de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle procedents dels combustibles per al transport entre 2011 i 2020, la proposta per reduir les emissions de CO₂ dels automòbils nous, o les propostes sobre el clima i les energies renovables orientades fonamentalment a arribar a les fites fixades per a 2020, incrementant radicalment l'ús de l'energia renovable en cada Estat membre. En l'àmbit de les mesures fiscals, destaca la Directiva 2003/96/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 27 d'octubre de 2003, sobre l'establiment d'un règim d'imposició comunitari per als productes energètics i de l'electricitat⁹³, que introdueix l'harmonització, en diferents fases, dels impostos nacionals, i que és operativa des del gener de 2004.

14.2. Paper de l'Estat davant el Conveni Marc del canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto

14.2.1. Introducció

Si en les pàgines anteriors hem exposat quin és el règim jurídic internacional d'intervenció sobre el canvi climàtic i, així mateix, com es concreta la participació de la Unió Europea en aquest, cal a continuació centrar l'anàlisi en l'àmbit estrictament estatal. No creiem necessari reproduir de nou els compromisos concrets que han estat assumits formalment per l'Estat espanyol, perquè ja han estat assenyalats prèviament i els tornarem a retrobar en l'apartat final valoratiu dels esforços realitzats i dels que resten encara per dur a terme des d'aquest nivell territorial. L'objectiu ara és determinar quins àmbits i competències específics de l'Estat es troben involucrats en matèria de lluita contra el canvi climàtic. Això ens permetrà conèixer quines actuacions estan o poden estar legitimades des d'aquest àmbit, quins són els seus límits, així com, en darrer terme, si han estat previstes, i de quina manera, fórmules de col·labo-

88. DO L 79, de 30.3.2000.

89. DO L 79, de 30.3.2000.

90. DO L 283, de 27.10.2001.

91. DO L 123, de 17.5.2003.

92. DO L 140, de 5.6.2009.

93. DO L 283, de 31.10.2003.

ració interadministrativa quan estem davant de competències compartides/concurrents. A continuació, seran explicitades també les tasques que han estat dutes a terme fins a l'actualitat en matèria de canvi climàtic per l'Estat, tant pel que fa a l'àmbit organitzatiu, normatiu, com a l'executiu.

14.2.2. Àmbits i activitats afectats pels compromisos i les competències a l'abast de l'Estat.

Tot i haver esmentat quins són els compromisos adquirits per part de l'Estat espanyol en el marc internacional i de la UE, cal necessàriament recordar a continuació quins àmbits i activitats poden resultar i resulten afectats per aquells i, fonamentalment, de quines competències concretes disposa l'Estat (i quin és el seu abast) quan desitja incidir i intervenir sobre les causes i conseqüències del canvi climàtic i complir els compromisos adquirits. En general, s'observa que destaca, entre d'altres, la vessant ambiental del tema que ens ocupa. La Constitució espanyola (CE), com no podria ser d'una altra manera, crida tots els poders públics, sense excepció, a realitzar tasques en aquest sector. Però, quines són les competències concretes de titularitat estatal? De forma preliminar, cal esmentar que és l'Estat, com a tal, qui presta el consentiment per obligar-se internacionalment, i subscriu tractats com el CMCC i el PK (art 94, CE). L'Estat gaudeix de competència exclusiva sobre les «relacions internacionals», tal com estableix l'article 149.1.3 de la Constitució. Però això no converteix automàticament qualsevol matèria o funció sobre la qual pugui recaure un conveni internacional en una matèria o funció reservada a l'Estat. Pel que fa al compliment de les obligacions internacionals, el Tribunal Constitucional ha insistit en la necessitat d'evitar que la «connexió comunitària» pugui enterbolir l'aplicació de les normes internes de repartiment de competències que integren el bloc de constitucionalitat. En aquest sentit, l'alta jurisdicció ha reconegut que les competències que l'article 149 de la Constitució atribueix a l'Estat en matèria de relacions internacionals no impliquen una extensió del seu àmbit competencial a totes les activitats relacionades amb el seu desenvolupament, l'execució o amb l'aplicació dels tractats internacionals ni en

particular, de les normes comunitàries de dret derivat. A partir d'aquesta premissa, ja podem establir quines són les competències estatals de caràcter sectorial implicades. Així, de la lectura de l'article 149 de la Constitució, observem que han estat reservades a aquest nivell competències exclusives sobre un ventall de matèries i activitats directament (o de forma connexa) relacionades totes elles amb el canvi climàtic. Esmentem únicament a continuació les que considerem més rellevants:

art. 149.1:

6. Legislació mercantil.

10. Comerç exterior.

13. Bases i coordinació de la planificació general de l'activitat econòmica.

15. Foment i coordinació general de la investigació científica i tècnica.

19. Pesca marítima, sens perjudici de les competències que s'atribueixin a les comunitats autònomes en l'ordenació d'aquest sector.

C1. Transport aeri; servei meteorològic.

21. Ferrocarrils i transports terrestres que circulin dins els territoris de més d'una comunitat autònoma; transit i circulació de vehicles de motor.

22. La legislació, ordenació i concessió de recursos i aprofitaments hidràulics si les aigües passen per més d'una comunitat autònoma, i l'autorització de les instal·lacions elèctriques si l'aprofitament afecta una altra comunitat o si l'energia és transportada fora del seu àmbit territorial.

23. Legislació bàsica sobre protecció del medi ambient, sens perjudici de les facultats de les comunitats autònomes per a l'establiment de normes addicionals de protecció. La legislació bàsica sobre espais i aprofitaments forestals i vies ramaderes.

24. Obres públiques d'interès general o la realització de les quals afecti més d'una comunitat autònoma.

25. Bases del règim miner i energètic.

D'aquesta enumeració simple, per a la qual ha calgut sovint la interpretació concreta que ha anat atorgant la jurisprudència del Tribunal Constitucional als diversos paràgrafs, observem com —*prima facie*— s'ofereix un gran ventall de possibilitats d'actuació a l'Estat, però també deduïm que hi resta un important espai per a la l'assumpció i exercici de competències per part de les comunitats autònomes. L'Estat, en ocasions,

s'ha reservat únicament la competència exclusiva per emetre la legislació bàsica d'un sector concret, per dictar-ne les bases, o bé per procedir a l'emissió d'autoritzacions singulars. Altres aspectes (funcions o matèries), no reservats expressament a l'Estat, poden (i de fet serà així sovint) restar sota l'exclusiva competència de les comunitats autònomes i donar, per tant, un paraigua prou generós que empari i cobreixi l'adopció de polítiques ambientals pròpies sobre el canvi climàtic. Així, sense perjudici de la concreció que posteriorment es realitzarà, cal tenir en compte, per avançar únicament algun exemple, el desenvolupament de la legislació estatal bàsica ambiental o l'exercici de competències executives ambientals com poden ser l'atorgament de permisos, la seva inspecció; l'agricultura, etc. No ens oblidem en aquest punt dels ens locals: també ells exerceixen funcions normatives (ordenances) i executives entre altres, en matèria ambiental, i poden incidir de forma creativa i singularment efectiva sobre determinats aspectes del canvi climàtic.

14.2.3. Organització administrativa

La característica transversal intrínseca de la problemàtica del canvi climàtic encaixa de manera difícil amb les estructures administratives més clàssiques de què disposen els Estats, que són bàsicament sectorials. Es podrà incidir i afectar sobre les causes i sobre els impactes del canvi climàtic des d'una multiplicitat d'òrgans públics, des dels quals s'exerceixen funcions sobre medi ambient, sobre agricultura, energia, transport etc. És habitual, doncs, que els diversos Estats, pel que fa al canvi climàtic, hagin assajat diferents fórmules d'organització administrativa des de les quals es pugui donar resposta adequadament a aquesta qüestió, cercant superar així la fragmentació i manca de coordinació entre actuacions diverses i a diferents nivells que en res afavoreix, com intentàvem reflexionar en les pàgines anteriors, ni l'assoliment dels complexos objectius compromesos, ni tampoc l'adopció d'una estratègia ni la valoració correcta de l'esforç que s'està realitzant globalment. A partir d'aquestes premisses es realitza a continuació un breu repàs dels principals òrgans que en l'Administració de l'Estat assumeixen competències sobre aquesta

matèria. Així observarem que el protagonisme de l'acció estatal correspon a la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic del Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Mari (MMARM). D'altra banda, com que el canvi climàtic és una matèria absolutament transversal, i que a més exigeix la coordinació tant entre diversos departaments ministerials de la mateixa Administració de l'Estat com entre totes les administracions públiques (estatal, autonòmiques i locals), han proliferat des dels primers temps diversos òrgans de caràcter col·legiat i que integren dins seu diverses administracions públiques.

14.2.3.1. El Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Mari: la Secretaria de l'Estat de Canvi Climàtic i l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic.

Com s'acaba d'assenyalar, dins de l'Administració de l'Estat les funcions i competències relatives a la lluita contra el canvi climàtic es duen a terme fonamentalment des del Ministeri de Medi Ambient Rural i Mari⁹⁴. Així ho estableix d'una manera clara el Reial decret 432/2008, de 12 d'abril, segons el qual correspon al MIMARM, la proposta i execució de la política del Govern en matèria de lluita contra el canvi climàtic, la protecció del patrimoni natural, de la biodiversitat i del mar, l'aigua, el desenvolupament rural, els recursos agrícoles, ramaders i pesquers, i l'alimentació. S'ha de destacar en primer lloc el que significa en si mateixa aquesta opció organitzativa adoptada per l'administració estatal l'any 2008, de manera que aquesta unificació de les competències dels ministeris de Medi Ambient, Agricultura i Pesca en un sol departament ministerial té, entre altres, la raó confessada «d'atendre els objectius estratègics de lluitar contra el canvi

94. El Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Mari es crea pel Reial decret 432/2008, de 12 d'abril. L'article 11 d'aquesta norma determina que correspon a l'esmentat departament ministerial la proposta i execució de la política del Govern en matèria de lluita contra el canvi climàtic, protecció del patrimoni natural, de la biodiversitat i del mar, aigua, desenvolupament rural, recursos agrícoles, ramaders i pesquers, i alimentació. Posteriorment, el Reial decret 438/2008, de 14 d'abril, aprova l'estructura orgànica bàsica dels departaments ministerials. Finalment el Reial decret 1130/2008, de 4 de juliol, desenvolupa l'estructura orgànica bàsica del Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Mari.

climàtic i avançar en el model de desenvolupament sostenible»⁹⁵.

Entre els òrgans superiors i directius del MMARM apareix la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic, que sota la dependència de la persona que encapçali el Ministeri, té com a funcions dirigir i coordinar l'execució de les competències que corresponen a aquest departament ministerial en relació amb la formulació de les polítiques de qualitat ambiental i la prevenció de la contaminació i el canvi climàtic, l'avaluació de l'impacte ambiental, i fomentar l'ús de tecnologies netes i hàbits de consum cada vegada menys contaminants i més sostenibles (art. 2 RD 1130/2008). La Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic comprèn l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic (OECC), la Direcció General de Qualitat i Avaluació Ambiental, i l'Agència Estatal de Meteorologia. Les funcions i competències actuals de l'OECC⁹⁶ es regulen a l'article 3 del RD 1130/2008. Aquest precepte atribueix l'OECC la formulació de la política nacional de canvi climàtic, així com funcions de proposta normativa i competències relatives al desenvolupament dels instruments de planificació i administratius que permetin complir amb els objectius establerts per aquesta política. Correspon també a l'OECC exercir les funcions tècniques i de gestió del secretariat dels òrgans col·legiats en matèria de canvi climàtic: la comissió interministerial que exerceix com a Autoritat Nacional Designada per als mecanismes basats en projectes del Protocol de

Kyoto, el Consell Nacional del Clima i la Comissió de coordinació de polítiques de canvi climàtic. L'OECC presta també assessorament als diferents òrgans de l'Administració General de l'Estat en els assumptes relacionats amb el canvi climàtic, i col·labora amb les comunitats autònomes en l'anàlisi de les repercussions que el canvi climàtic té en les matèries de la seva competència. L'OECC té també funcions d'informació i divulgació en matèria de canvi climàtic, i a ella li correspon també relacionar-se amb les administracions públiques, organitzacions no governamentals, institucions i entitats públiques i privades i altres agents socials per col·laborar en iniciatives tendents a la lluita contra el canvi climàtic. Des del punt de vista de la participació en organismes internacionals, l'OECC participa en la representació del ministeri en els organismes internacionals i assumeix el seguiment dels convenis internacionals en les matèries de la seva competència, així com exerceix de punt focal nacional davant de la Convenció Marc de Nacions Unides sobre Canvi Climàtic i davant el Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic. Les seves competències s'estenen també a aspectes de planificació (promoure la integració de l'adaptació al canvi climàtic en la planificació de les polítiques sectorials, coordinar els plans i programes que es desenvolupin en relació amb les mesures i estratègies d'adaptació al canvi climàtic, coordinar els plans i programes que es desenvolupin en relació amb les mesures de mitigació), i d'anàlisi, investigació i promoció de desenvolupament i transferència de tecnologies.

Finalment ha d'assenyalar-se l'important protagonisme de l'OECC en el sistema de comerç d'emissions on, al costat de la funció de promoure la utilització dels mecanismes de flexibilitat del Protocol de Kyoto, és l'òrgan ministerial al qual li correspon exercir les funcions atribuïdes al ministeri per la Llei 1/2005, de 9 de març, per la qual es regula el règim del comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle i, en general, aplicar la normativa de comerç de drets d'emissió, així com exercir totes les funcions li atribueixi la normativa en relació amb el Registre Nacional de Drets d'Emissió, adscrit a aquesta Direcció General. En particular, li correspon la direcció de l'activitat del registre, la coordinació

95. Així s'expressa en l'exposició de motius del RD 1130/2008, de 4 de juliol. En qualsevol cas, interessa destacar que la reestructuració de l'any 2008 no afecta en essència l'organització de les competències de l'antiga Secretaria General per a la Prevenció de la Contaminació i el Canvi Climàtic (d'acord amb el model que s'establí l'any 2004), ja que s'enquadraran ara en la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic amb pràctica identitat de cometes (encara que hagi desaparegut la referència a la prevenció de la contaminació en la denominació d'aquesta Secretaria General). Es pot consultar una primera valoració del significat general d'aquesta reforma a Pont Castejón, Isabel, i Nieto Moreno, Juan Emilio, «La actuación ambiental del Estado», a López Ramón, F. [coord.] (2009). *Observatorio de Políticas Ambientales*. Madrid: Aranzadi.

96. Fent una mica d'història, l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic va ser creada l'any 2001. La seva composició i estructura es van aprovar inicialment mitjançant Ordre de 17 de juliol de 2001. El Reial Decret 1477/2004, de 18 de juny, en determinava les funcions.

amb els òrgans competents per a l'aplicació de la Llei 1/2005, de 9 de març, les relacions amb l'entitat que tingui encomanada, si escau, la seva administració i l'aprovació de tots els actes o resolucions de caràcter jurídic que hagin de donar suport a la concreta activitat del Registre. A més, exerceix totes les funcions que atribueix la normativa al ministeri en relació amb els sistemes de seguiment i verificació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de les instal·lacions incloses en l'àmbit d'aplicació de la Llei 1/2005, de 9 de març.

De l'OECC depenen tres subdireccions generals: la Subdirecció General d'Impactes i Adaptació, la Subdirecció General de Mitigació i Tecnologies, i la Subdirecció General de Comerç d'Emissions i Mecanismes de Flexibilitat. Aquestes subdireccions generals es reparteixen l'exercici de les competències generals que hem repassat sumàriament en el paràgraf anterior.

14.2.3.2. Altres òrgans

Malgrat el protagonisme de l'OECC, han proliferat des dels primers temps diversos òrgans de caràcter col·legiat que integren diverses administracions públiques.

a) Consell Nacional del Clima

D'acord amb un criteri cronològic, cal esmentar en primer lloc el Consell Nacional del Clima (CNC), creat mitjançant el Reial Decret 177/1998, de 16 de febrer, norma substituïda després pel Reial Decret 1188/2001, de 2 de novembre, que en regula la composició i les funcions. El CNC és un òrgan de caràcter col·legiat, adscrit al MMARM i presidit pel seu ministre. Entre les seves funcions principals hi localitzem la d'elaboració i seguiment de l'Estratègia Espanyola enfront del Canvi Climàtic. També elabora propostes i recomanacions per definir polítiques i mesures de lluita enfront del canvi climàtic, impactes, estratègies de limitació de l'emissió de gasos etc. Pel que fa a la seva composició, cal dir que el ple del CNC l'integren 55 membres nomenats per 3 anys renovables: hi ha representants de 12 ministeris i actualment hi són representades amb un vocal totes les comunitats autònomes. També hi ha 3 vocals de les entitats locals d'àmbit estatal amb més implantació, així

com representació d'organitzacions empresarials, sindicats, comunitat científica i grups ecologistes, entre d'altres. Les sessions plenàries es desenvolupen un cop l'any com a mínim. A més del ple, hi ha la comissió permanent, òrgan més executiu al qual correspon el seguiment ordinari de les funcions del CNC, que està previst que es reuneixi un cop al semestre com a mínim. El mateix Reial decret (art. 8) va preveure la possibilitat de crear grups de treball d'experts, amb composició multisectorial, possibilitat permanentment oberta sempre que es consideressin necessaris. Cal assenyalar que les funcions tècniques i de gestió del secretariat d'aquest òrgan col·legiat d'acord amb el Reial decret 1130/2008, de 4 de juliol, corresponen a l'OECC.

b) Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic

A més del CNC i de l'OECC, ja esmentats, cal esmentar un òrgan dissenyat per la Llei 1/2005, de 9 de març, mitjançant la qual es regula el règim del comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle (BOE de 10 de març de 2005) per donar cabuda a certa participació autonòmica. Així observem com es crea la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic (art. 3), òrgan de coordinació i col·laboració entre l'Administració General de l'Estat i les comunitats autònomes. La seva creació ja havia estat avançada pel Reial decret llei 5/2004, de 27 d'agost, que de forma urgent regulava matèries tan necessitades d'una actuació pública decidida. Un òrgan així, d'acord amb l'exposició de motius, resulta imprescindible atesa la complexitat tècnica del règim d'autoritzacions i del seguiment d'emissors i la necessitat de col·laborar per tal de garantir la coherència en l'aplicació en tot el territori, tant en els sectors d'activitat inclosos en la Directiva com en els que no ho estan. A això s'afegeix la necessària col·laboració en relació amb el conjunt d'obligacions internacionals i comunitàries i pel que fa a la informació sobre polítiques i mesures adoptades per complir els compromisos en matèria de canvi climàtic.

Les funcions que han estat assignades a aquesta comissió de coordinació són bàsicament de prevenció i reducció d'emissions, de seguiment del canvi climàtic i de foment o impuls de programes

i actuacions. També estableix les línies generals d'actuació que ha de seguir l'Autoritat Nacional designada per l'Estat espanyol pel que fa als mecanismes de projecte del Protocol de Kyoto, tot tenint en compte els criteris que estableixi el CNC.

c) La Comissió Interministerial que actua com Autoritat Nacional Designada en l'àmbit dels mecanismes de flexibilitat del Protocol de Kyoto

La Llei 1/2005, de 9 de gener, va preveure també l'existència d'una comissió interministerial creada amb l'objectiu clar que exerceixi com a Autoritat Nacional Designada (AND) per tal d'aprovar els mecanismes previstos en el Protocol de Kyoto (projectes de desenvolupament net i d'aplicació conjunta). Aquesta comissió actua com a punt focal nacional per a l'autorització dels projectes del Mecanisme de Desenvolupament Net i Aplicació Conjunta en què intervingui Espanya i les empreses que aquesta autoritzi. L'origen d'aquesta comissió, es troba al Reial decret llei 5/2004, que va preveure inicialment una comissió estrictament interministerial. D'acord amb el redactat que apareix a la Llei 1/2005, aquesta Comissió perd aquell caràcter i amplia la seva representativitat. La integren representants de l'Oficina Econòmica del President del Govern i els Ministeris d'Afers Estrangers i de Cooperació, d'Economia i Hisenda, Medi Ambient i Medi Rural i Marí i Indústria, Comerç i Turisme, i també per un representant de les comunitats autònomes competents escollit de la manera que elles mateixes acordin.

Apuntem també que la secretaria de l'AND correspon a l'OECC, i que promourà la subscripció de convenis de col·laboració amb les comunitats autònomes per tal de fomentar i facilitar el desenvolupament dels mecanismes basats en projectes del Protocol de Kyoto. També es determina a la Llei 1/2005 que, per tal de facilitar el desenvolupament dels mecanismes basats en els projectes, les comunitats autònomes podran crear centres que col·laborin amb l'Autoritat Nacional. Les funcions d'aquesta comissió van ser posteriorment explicitades mitjançant el Reial Decret 1031/2007, de 20 de juliol, pel qual es desenvolupa el marc de participació en els mecanismes de flexibilitat del Protocol de Kyoto.

d) Comissió Delegada del Govern per al Canvi Climàtic (CDGCC)

Aquesta comissió es va crear mitjançant el Reial decret 680/2008, de 30 d'abril, i està integrada pels ministres d'Afers Estrangers i Cooperació, de Foment, d'Educació, de Sanitat i Política Social, d'Indústria, Turisme i Comerç, de Medi Ambient, i de Medi Rural i Marí, d'Habitatge i de Ciència i Innovació, juntament amb les vicepresidències de Govern. També en formen part els secretaris d'Estat per a la Unió Europea, de Defensa, d'Economia, d'Hisenda i Pressupostos, de Seguretat, de Planificació i Infraestructures, d'Energia, de Cooperació Territorial, de Canvi Climàtic i d'Investigació.

e) L'Observatori de la Salut i Canvi Climàtic

D'altra banda, el Consell de ministres de 24 d'abril de 2009 donava compte de la creació de l'Observatori de la Salut i Canvi Climàtic. Aquest observatori, que es preveu que compti amb la participació d'experts científics i tècnics, està gestionat pels ministeris de Sanitat i Política Social i de Medi Ambient i Medi Rural i Marí. Entre els seus objectius inclou l'anàlisi, el diagnòstic, l'avaluació i el seguiment dels efectes del canvi climàtic en la salut pública i en el Sistema Nacional de Salut, així com l'avaluació i comunicació dels efectes positius en la salut de les polítiques de mitigació del canvi climàtic. S'espera que aquest nou òrgan reforci l'estructura ja existent i que a partir de la necessària recopilació de dades, diagnòsi, seguiment d'efectes sobre la salut, i tasques essencials que li han estat encomanades, possibiliti l'adopció i implantació de mesures preventives i correctores que incideixin en una millora de la salut de la població. Aquest aspecte és essencial, perquè els efectes del canvi climàtic, com reconeix bé el Consell de ministres, estan associats a un ampli ventall de conseqüències negatives sobre la salut de les persones, com les dels efectes associats a la contaminació atmosfèrica, l'augment de les temperatures i l'increment de la freqüència de les onades de calor, o la modificació dels patrons de malalties infeccioses. Entre les seves funcions cal destacar també la d'informar i sensibilitzar la societat, formar els professionals sanitaris i ambientals, i estimular la investigació en aquest camp. En qualsevol cas

ressaltem finalment que els esforços d'aquest nou òrgan van també en la línia dels treballs ministerials que envolten el que es coneix com a Pla Nacional d'Acció en Salut i Medi ambient per al període 2009-2012.

14.2.4 Exercici de competències sobre el canvi climàtic (les funcions normatives i les funcions executives): els objectius de reducció assumits per l'Estat espanyol i les principals mesures per a la seva consecució

Un cop examinada l'organització administrativa, cal fer un repàs a les principals línies que han seguit les accions de la lluita contra el canvi climàtic des del punt de vista de l'Administració de l'Estat. En aquest sentit, i de manera preliminar, cal tenir en compte que l'Estat espanyol participa, dins l'àmbit de Nacions Unides, en les reunions dels òrgans subsidiaris del conveni; també ho ha fet en les diverses reunions de la Conferència de les Parts (COP) del Conveni Marc, bé a títol individual, bé com a part de la delegació de la Unió Europea, així com en les diverses sessions del plenari del Grup Intergovernamental d'Experts sobre Canvi Climàtic (IPCC) o treballant en l'elaboració dels informes que s'emeten sobre qüestions específiques dins dels grups de treball. Es pot dir el mateix pel que fa a l'àmbit europeu. Però el que ens preguntem en aquest punt és què s'ha fet dins l'àmbit intern.

Dins d'aquest marc, cal recordar que fer front, des qualsevol poder públic, a la problemàtica del canvi climàtic, constitueix un repte complex ja que, a diferència del que succeeix amb relació a moltes altres qüestions, té implicacions directes de caràcter econòmic, ambiental i social i, de la mateixa manera, incideix normalment en multiplicitat de sectors, com l'energia, els residus, l'agricultura, els transports, l'habitatge, la salut... Afecta, a més a més, tots els àmbits públics territorials i reclama l'establiment, en qualsevol cas, d'una programació a curt, mitjà i llarg termini. Aquesta és la conseqüència de l'assumpció d'uns compromisos que tenen un període determinat de venciment, unes dates límit concretes. Aquestes circumstàncies, que conjuntament són poc comunes en la presa de decisió pública, tradicionalment més sectorialitzada, en res afavoreixen el procés decisional o l'aplicació efectiva de

les mesures que s'estableixin, el que exigeix, doncs, un esforç i una creativitat suplementaris. Conèixer totes aquestes qüestions obliga a actuar amb previsió. També hauria d'empènyer tot Estat a actuar, a actuar amb temps per ser-hi a temps.

14.2.4.1. Apunt general de l'evolució des dels inicis fins al Pla nacional d'assignació del 2006

Com s'havia apuntat a l'informe de 2005⁹⁷, en finalitzar l'any 2003 no es disposava encara, a l'Estat espanyol, d'una política pròpia, coherent i integradora per fer front a aquest fenomen. Així, doncs, com que el nivell d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle era especialment alarmanant, la situació era especialment greu perquè eren múltiples les exigències que reclamaven i encara reclamen una resposta pública enèrgica. Es per això que es considerava necessari disposar d'una política d'àmbit estatal pròpia, centrada i orientada específicament a la realització d'actuacions sobre el canvi climàtic, omnicomprensiva dels diferents aspectes que integra, participada, consensuada, adaptada a les circumstàncies d'aquest Estat i per tant, a la seva organització territorial, i capaç de possibilitar l'acompliment dels objectius en el moment en què siguin exigibles.

L'any 2004 es considera, sens dubte, el tret de sortida per a l'adopció d'una política estatal decidida en matèria de lluita enfront del canvi climàtic, els resultats de la qual van veure la llum al llarg dels anys 2004-2005. L'exercici de les competències estatals incideix bàsicament en els dos eixos fonamentals de mitigació i adaptació al canvi climàtic que van marcar les polítiques per fer front al canvi climàtic fins el moment actual. Des d'un punt de vista general, les accions en aquesta etapa incideixen fonamentalment en el sector energètic, així com en l'adopció d'instruments de cooperació internacional, i, de manera especial, en l'àmbit relacionat amb el comerç d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle dins del compromisos internacionals assumits per l'Estat espanyol. Així, i pel que fa al sector de l'energia, es pot mencionar entre els documents de caràcter planificador i programador el Pla d'Acció per al període 2005-2007 de la *Estrategia de Ahorro*

97. Pont i Campins, 2005.

*Eficiencia Energética en España 2004-2012*⁹⁸. El Pla d'Acció 2005-2007 va ser elaborat sota la coordinació del Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç.

Una altra de les línies importants empreses en aquesta primera etapa està relacionada amb la cooperació internacional. En aquest sentit, i deixant de costat diverses iniciatives de cooperació bilateral, es pot afirmar que l'aposta política de més gran rellevància en cooperació en matèria de canvi climàtic és la creació, el 2004, de la Xarxa Iberoamericana d'Oficines de Canvi Climàtic (RIOCC). Dins les activitats de la Xarxa s'ha establert el Programa Iberoamericà d'Impactes, Vulnerabilitat i Adaptació al Canvi Climàtic (PIACC), que té com a objectiu enfortir el desenvolupament i l'aplicació d'estratègies d'adaptació en la regió llatinoamericana i facilitar l'avaluació d'impactes, vulnerabilitat i opcions d'adaptació al canvi climàtic.

En qualsevol cas, es pot afirmar que els avenços més interessants en aquesta època es centren en l'aprovació de legislació d'incorporació de la Directiva comunitària 2003/87, de 13 d'octubre de 2003, per la qual s'estableix un règim per al comerç d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat. Això significa l'aprovació de diverses normes per tal de regular el règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Aquesta normativa va estar constituïda inicialment pel Reial decret llei 5/2004, de 27 d'agost, i posteriorment per la Llei 1/2005, de 9 de març. De manera complementària, destaca especialment el Reial decret mitjançant el qual es du a terme l'aprovació del Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió⁹⁹. En qualsevol cas, cal destacar que els objectius que assumeix el PNA en aquestes dates es limiten a aconseguir que al

final del període 2008-2012 les emissions no sobrepassin les emissions de l'any 1990 en més d'un 24%. El percentatge s'obté sumant l'objectiu de limitació de Kyoto (14%) a l'estimació d'absorció per embornals (màxim d'un 2%) i els crèdits que es puguin obtenir al mercat internacional (7%).

Malgrat el que s'acaba d'esmentar, i no obstant la intensificació d'aquests esforços a partir de l'any 2004 en matèria de lluita contra el canvi climàtic, el cert és que l'any 2006 les estimacions de les possibilitats de complir amb els compromisos internacionals assumits per l'Estat Espanyol apareixien llunyanes. Valgui recordar en aquest sentit que l'avaluació temporal dels darrers anys dona una tendència de creixement de les emissions força significativa: així, per al conjunt de les activitats cobertes pel règim internacional, l'any 1995 ja se superava en un 10,8%; l'any 2000 en un 33,8%, i el 2005 s'arribava a un 53,3%, que es reduïa a un 50,6% el 2006¹⁰⁰.

14.2.4.2. Evolució des de l'any 2006. Estat actual de la qüestió: les principals mesures en l'àmbit estatal per al compliment dels objectius relacionats amb el canvi climàtic

Les dificultats pel que fa al compliment dels compromisos internacionals que s'acaben d'esmentar han marcat les accions que s'han anat duent a terme des de llavors per part de l'administració estatal. Naturalment, es troben presents en els plantejaments del segon, i vigent, Pla Nacional d'Assignació aprovat mitjançant el RD 1370/2006, de 24 de novembre¹⁰¹. En aquest

98. L'Estratègia d'Estalvi i Eficiència Energètica a Espanya 2004-2012 va ser aprovada el 28 de novembre de 2003, i proposa, per a cadascun dels principals sectors involucrats, una sèrie de mesures que han d'establir-se durant el període 2004-2012 per aconseguir millores substancials en els índexs d'eficiència energètica.

99. Reial decret 1866/2004, de 6 de setembre de 2004, que aprovava el Pla Nacional d'Assignació de drets d'emissió per al període 2005-2007 (BOE de 7.9.2004) i que va ser modificat pel Reial decret 60/2005, de 21 de gener (BOE de 22.1.2005) i pel Reial decret 777/2006, de 23 de juny (BOE de 24.6.2006).

100. Ministerio de Medio Ambiente, *Inventario de gases de efecto invernadero en España*, edición de 2008 (serie 1990-2006). Sumario de resultados, a http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/pdf/Sumario_inventario_GEI_Espania_ed_2008_serie_1990-2006.pdf, p. 12.

101. Modificat pel RD 1030/2007 i posteriorment pel RD 1402/2007. També s'ha de tenir en compte l'Ordre PRE/2827/2009, de 19 d'octubre, per la qual es modifiquen les quanties de les assignacions sectorials establertes en el Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió de Gasos amb Efecte d'Hivernacle, 2008-2012, aprovat pel Reial Decret 1370/2006, de 24 de novembre, BOE de 23 d'octubre de 2009. Aquesta Ordre es dicta com a conseqüència de la necessitat d'adaptar el PNA a les resolucions estimatòries de diversos recursos de reposició interposats per determinades instal·lacions contra la notificació de les assignacions per al període que cobreix el PNA aprovat pel RD 1370/2006. La

sentit, l'objectiu sobre el qual es construeix aquest pla és que Espanya no superi les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en més d'un 37% sobre l'any base (1990) de mitjana anual durant el període 2008-2012. Aquest compromís es compleix si a la reducció assumida (15%) se li uneixen l'adquisició addicional del 20% en crèdits de carboni procedents de mecanismes de flexibilitat, i un 2% addicional a través dels embornals de carboni.

En aquest context cal mencionar que és precisament a partir de l'any 2006 quan la tasca normativa i planificadora s'ha anat intensificant progressivament. En aquest procés exerceix un paper fonamental l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta (EECCCL) i els seus plans de desenvolupament, als quals ens referim seguidament.

a) Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta, Horitzó 2007-2012-2020 (EECCCL)

Aprovada el 2 de novembre de 2007, l'EECCCL¹⁰² reconeix en els seus plantejaments que, encara que les mesures i programes adoptats per l'Estat i les comunitats autònomes en dates anteriors havien tingut com a resultat un canvi en el context normatiu i planificador, les previsions d'emissions mostraven la necessitat de «tenir en compte mesures addicionals que contribueixin a l'obtenció d'un escenari per al desenvolupament econòmic, social i ambiental sostenible».

En relació amb els seus objectius, l'EECCCL planteja una sèrie de metes generals, entre les quals, òbviament, el compliment del compromís internacional assumit per Espanya amb la ratificació del PK constitueix l'eix fonamental. No obstant això, simultàniament, es planteja també la preservació i millora de la competitivitat d'economia espanyola i l'ocupació laboral. L'EECCCL també es marca l'objectiu de resultar compatible amb l'estabilitat econòmica i pressupostària, i garantir la seguretat del proveïment energètic. A partir d'aquests

objectius generals, l'EECCCL fixa una sèrie d'objectius operatius, entre els quals destaquen¹⁰³:

a) Assegurar la reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Espanya, donant especial importància a les mesures relacionades amb el sector energètic¹⁰⁴.

b) Enfortir els mecanismes de flexibilitat basats en projectes com instruments de contribució al desenvolupament sostenible i al compliment dels compromisos de canvi climàtic.

c) Impulsar mesures addicionals de reducció en els sectors difusos.

d) Aplicar el Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic (PNACC) tot promovent la integració de les mesures i estratègies d'adaptació en les polítiques sectorials.

La consecució d'aquests objectius s'organitza per en 10 àrees d'actuació: 1) Cooperació institucional, 2) Mecanismes de Flexibilitat, 3) Cooperació internacional i cooperació amb països en desenvolupament, 4) Comerç de drets d'emissió, 5) Captura i emmagatzematge de CO₂, 6) Sectors difusos, 7) Adaptació al canvi climàtic, 8) Difusió i sensibilització, 9) Investigació, desenvolupament i innovació tecnològica, i 10) Mesures horitzontals.

b) Plans dins del marc de la EECCCL-2012

b.1) Pla de Mesures Urgents de l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta

El Pla de Mesures Urgents de l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta va ser

modificació afecta a l'assignació realitzada a 22 instal·lacions, cosa que al seu torn repercuteix en l'assignació per sectors i en la reserva de nous entrants. No es modifica la quantitat total de drets assignats en el Pla.

102. http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/estrategia_cc/pdf/est_cc_energ_limpp.pdf.

103. A més dels esmentats, constitueixen també objectius operatius de l'EECCCL:

- Augmentar la conscienciació i sensibilització pública amb referència a energia neta i canvi climàtic.
- Fomentar la investigació, el desenvolupament i la innovació en matèria de canvi climàtic i energia neta.
- Garantir la seguretat del proveïment d'energia fomentant la penetració d'energies més netes, principalment de caràcter renovable, obtenint altres beneficis ambientals (per exemple, amb relació a la qualitat de l'aire) i limitant la taxa de creixement de la dependència energètica exterior.
- Impulsar l'ús racional de l'energia i l'estalvi de recursos tant per a les empreses com per als consumidors finals.

104. D'acord amb l'inventari nacional, seguint la classificació IPCC, l'any 2005 el total de les emissions relacionades amb el processament de l'energia van ser el 78,87% de les emissions nacionals.

aprovat pel Consell de ministres el 20 de juliol de 2007 amb l'objectiu de posar en marxa mesures que tan aviat com sigui possible permetin assolir les reduccions requerides per al període 2008-2012. Se centra en determinades iniciatives previstes en l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta que podien posar-se en marxa urgentment, per tal d'aconseguir objectius de reducció d'emissions en el període 2008-2012. Posteriorment, el juliol de 2008, es van aprovar sis línies complementàries del Pla per part de la Comissió Delegada del Govern per al Canvi Climàtic. Es tracta, concretament, de sis línies estratègiques clau en la reducció de gasos amb efecte d'hivernacle:

- residus
- mobilitat sostenible
- edificació sostenible
- sostenibilitat energètica
- política forestal
- innovació.

En la definició i aplicació de cada línia estratègica estan implicats tots els departaments ministerials amb competències en la matèria: Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí, Ministeri de Foment, Ministeri de l'Habitatge, Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç, Ministeri de l'Interior, Ministeri de Treball i Immigració, Ministeri de Ciència i Innovació i Ministeri d'Economia i Hisenda. D'acord amb la nota del MMARM de 12 de març de 2009, s'han constituït formalment tots els grups de treball de les sis línies estratègiques. Un director general del departament ministerial que lidera cada línia de treball actua com a coordinador en cada grup, amb el suport de l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic (OECC). La directora general de l'OECC participa en tots els grups i assegura la coherència tècnica dels seus treballs així com la quantificació de la reducció d'emissions de GEH que es poden derivar de les actuacions recollides en les línies.

Quan encara no havia transcorregut ni un any des de l'aprovació d'aquestes línies estratègiques, el MMARM va procedir a avaluar les accions que s'estaven duent a terme per a la seva consecució. En aquest sentit, i com es desprèn de la nota del MMARM de 12 de març de 2009, la implementació de les línies presentava aspectes esperançadors. Més recentment, el maig de 2010, el

MMARM ha publicat una altra nota informativa per donar compte dels avenços produïts en l'aplicació d'aquestes línies estratègiques. Així, i sense ànim d'exhaustivitat, cal destacar que pel que fa als residus, l'informe sobre el grau d'aplicació de les línies estratègiques a què s'acaba de fer referència (elaborat el 12 de març de 2009), valora positivament l'aplicació en haver-se cobert els objectius d'incloure aquestes consideracions en el Pla Nacional Integrat de Residus (PNIR, gener 2009) i el Pla de Biodigestió de Purins del 2008. En relació amb el PNIR, destaquem que incorpora l'Estratègia de Reducció d'Abocament de Residus Biodegradables per disminuir el seu impacte sobre l'entorn i per contribuir especialment a la reducció de gasos amb efecte d'hivernacle. Per part seva, el Pla de Biodigestió de Purins per a la reducció dels gasos amb efecte d'hivernacle, assumeix que un tractament de 9.470.000 tones de purins/any permetrà reduir 2,23 milions de tones de CO₂ eq./any, bàsicament mitjançant la metanització dels purins i la valoració energètica del biogas. Cal assenyalar addicionalment que dins del marc de l'EECCEL, de les sis línies estratègiques i del PNIR, s'ha aprovat el Reial decret 1823/2009, de 27 de novembre, que regula la concessió directa d'una subvenció a les comunitats autònomes per a l'execució urgent d'actuacions per al compliment de la legislació d'abocadors, incloent la clausura d'abocadors il·legals i la captació de biogas en abocadors, i altres actuacions complementàries (BOE núm. 287, de 28.11.2009). L'informe de maig de 2010, en relació amb els residus, fa referència a diverses iniciatives que estan encara en fase de preparació com la transposició de la nova Directiva Marc de Residus, el projecte d'elaboració d'un Pla de Caracterització de Residus (que es preveu que incideixi en un millor ajust dels inventaris nacionals de gasos amb efecte d'hivernacle), o la revisió prevista del decret que transposa la directiva de fangs de depuradora. Aquest informe fa també referència a determinades mesures en aquest sector recollides en el projecte de Llei d'economia sostenible¹⁰⁵.

El capítol dedicat a les actuacions relatives a l'eix d'edificació sostenible és especialment

105. Projecte de Llei número 121/000060, d'economia sostenible. BOCG. Congrés dels Diputats, sèrie A. 9 d'abril de 2010.

extens. Els objectius d'aquesta línia s'adrecen a promoure l'eficiència energètica i a assolir un percentatge més alt d'autoproveïment en consums energètics en habitatges i edificis, tant d'ús residencial com institucional. Així, i en relació amb la implementació del pla d'estalvi i eficiència energètica dins de l'Administració General de l'Estat, destaquen les actuacions que du a terme l'Institut per a la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE). L'IDAE és una entitat pública empresarial, adscrita al Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç, que depèn orgànicament de la Secretaria d'Estat d'Energia, i s'ha dedicat essencialment a inventariar i aportar referències dels objectius d'estalvi d'energia dels edificis ministerials, així com a realitzar diagnòstics energètics i programes d'actuació. Des d'un altre punt de vista, aquesta línia estratègica es desenvolupa també amb instruments que incideixen la certificació d'eficiència energètica d'edificis existents, en la certificació energètica d'edificis nous i a la implementació d'un pla RENOVE per a habitatges, relacionat amb el Pla estatal d'habitatge 2009-2012, que s'adreça a la rehabilitació encaminada a la millora de l'eficiència energètica del parc d'habitatges existent i la promoció d'habitatges de protecció oficial que assoleixin una alta eficiència energètica. Així mateix, es plantegen accions relacionades amb el turisme, que són exposades en l'apartat corresponent, al costat del foment de la utilització de bombetes de baix consum.

No és difícil advertir que la sostenibilitat energètica constitueix una peça clau en la lluita contra el canvi climàtic. Els principals objectius que es persegueixen en el marc d'aquesta línia estratègica són promoure una major coherència en el marc regulador i en els plans de l'energia; integrar els objectius comunitaris d'estalvi i millora de l'eficiència energètica així com de promoció de les energies renovables. Sent això així, les accions de desenvolupament en aquesta línia estratègica del pla de mesures urgents es xifren, essencialment en l'adopció de certes normes jurídiques com la Llei d'eficiència energètica i energies renovables, en la regulació de la captura geològica del carboni, i en l'actualització de del Pla d'Estalvi i Eficiència Energètica per al període 2013-2020 i del Pla d'Energies Renovables per al període 2011-2020.

b.2) Plans d'acció d'estalvi i eficiència energètica

L'any 2007 es va elaborar i va aprovar un nou pla d'acció d'estalvi i eficiència energètica (2008-2012) que revisava i substituïa el primer pla d'acció 2005-2007. Encara que no es tracta d'un pla exclusivament centrat en el canvi climàtic, estima que com a conseqüència directa del pla i en coherència amb l'EECCCEL, pot assolir-se un volum de reducció d'emissions de 270.592 kt CO₂ durant el període 2004-2012, de les quals 238.130 kt CO₂ s'aconseguiran durant el període del pla 2008-2012¹⁰⁶.

b.3) Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic

El Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic es va aprovar per la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic el juny de 2006. Pretén constituir el marc de referència per a la coordinació entre les administracions públiques pel que fa a l'avaluació d'impactes, vulnerabilitat i adaptació al canvi climàtic a Espanya en els diferents sectors potencialment afectats (gestió de l'aigua, agricultura, boscos, biodiversitat, zones costaneres, salut, turisme...).

Es planteja una sèrie d'objectius inicials, com són:

a) Desenvolupar els escenaris climàtics regionals per a la geografia espanyola.

b) Desenvolupar i aplicar mètodes i eines per avaluar els impactes, la vulnerabilitat i l'adaptació al canvi climàtic en diferents sectors socioeconòmics i sistemes ecològics.

c) Incorporar al sistema espanyol de R+D+I les necessitats més rellevants en matèria d'avaluació d'impactes del canvi climàtic.

106. El resum executiu d'aquest pla (pàgina 8) explicita els seus objectius de la manera següent: en termes de reducció d'emissions de CO₂, significa superar la proposta inicial que per a tot el període de l'E4 proposava una reducció de 190 Mt CO₂. S'estima assolir un volum de reducció d'emissions de 270.592 kt CO₂, dels quals: 238.130 kt CO₂ correspon a reduccions durant el període 2008-2012 com a conseqüència del PAE4+, i 32.462 ktCO₂ de l'efecte derivat del primer Pla 2005-2007 durant el període. Aquest estalvi d'emissions representaria el 12% de les emissions que s'assolirien durant el període, estimant que Espanya assolís el 37% de les emissions de 1990. Per tot això, els objectius proposats en l'E4, aconseguiran assolir al final del període un 142,9% en termes d'energia, que representa, pel que fa a l'escenari base de consums en els 8 anys de l'E4, una reducció del 7,0%. Amb relació a les reduccions d'emissions del CO₂, l'objectiu total assolit amb els dos plans pel que fa a l'E4 és del 142,4%.

d) Realitzar contínues activitats d'informació i comunicació dels projectes.

e) Promoure la participació de tots els agents implicats en els diferents sectors i sistemes, amb l'objecte d'integrar l'adaptació al canvi climàtic en les polítiques sectorials.

f) Elaborar informes específics amb els resultats de les avaluacions i projectes i informes periòdics de seguiment dels projectes i del conjunt del Pla Nacional d'Adaptació.

El pla es desenvolupa a través de programes de treball. El primer programa de treball, aprovat el 2006, té en compte el desenvolupament d'escenaris climàtics regionals i l'avaluació de l'impacte del canvi climàtic sobre els recursos hídrics, la biodiversitat i les zones costaneres. En el marc del primer programa de treball, s'ha elaborat l'any 2008 el primer informe de seguiment, que reflecteix les àrees on s'han centrat primordialment les accions del pla d'adaptació al canvi climàtic en aquesta primera etapa. D'aquesta manera s'organitza al voltant de la consideració del canvi climàtic des de la perspectiva dels recursos hídrics (i la seva incorporació en la planificació hidrològica), biodiversitat, zones costaneres, i accions d'investigació, com la posada en marxa d'un programa coordinat entre l'Administració General de l'Estat i les comunitats autònomes en matèria de R+D+I sobre impacte i adaptació al canvi climàtic en el Pla Nacional d'Investigació Científica, Desenvolupament i Innovació Tecnològica 2008-2011.

Posteriorment, el juliol de 2009, l'OCC ha elaborat un segon programa de treball que defineix el marc per a la coordinació entre administracions públiques per a les activitats d'avaluació d'impactes, vulnerabilitat i adaptació al canvi climàtic. En aquest sentit, el segon programa de treball revisa els treballs, activitats i progressos assolits des de 2006 i planteja una sèrie d'objectius al voltant de quatre eixos:

a) Avaluació sectorial d'impactes, vulnerabilitat i adaptació al canvi climàtic (que constitueix el nucli del Segon Programa de Treball).

b) Integració de l'adaptació al canvi climàtic en la normativa sectorial.

c) Mobilització d'actors clau —tant públics i socials com privats— que han de tenir part activa en la identificació de mesures d'adaptació al canvi climàtic.

d) Establiment d'un sistema d'indicadors dels impactes i l'adaptació al canvi climàtic a Espanya en tots els sectors.

D'una manera transversal, aquest segon programa fa especial èmfasi en la potenciació de la R+D+I en tecnologies d'adaptació, així com molt especialment, en la coordinació interadministrativa, de manera que s'evitin les duplicitats entre el Pla Nacional d'Adaptació i les estratègies, els plans, i els programes d'adaptació de les comunitats autònomes. En aquest últim sentit és fonamental el paper que exerceix la comissió de coordinació.

c) El projecte de Llei d'economia sostenible

El projecte de Llei d'economia sostenible conté diverses disposicions que afecten qüestions relacionades amb el canvi climàtic i fou presentat al Congrés dels Diputats el 30 de març de 2010¹⁰⁷. El projecte se centra en cinc grans eixos: competitivitat, sostenibilitat ambiental, normalització de l'habitatge, innovació i formació professional i fons econòmics per als nous sectors. La seva principal incidència en aquest camp es preveu mitjançant les disposicions relacionades amb els residus i amb el règim d'infraestructures, transports i mobilitat (seccions primera, segona i tercera del Títol III del projecte), així com algunes disposicions relacionades amb l'edificació sostenible i eficiència energètica.

14.2.5. Aplicació del sistema europeu de comerç d'emissions

La Llei 1/2005, de 9 de març, per la qual es regula el règim del comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle¹⁰⁸, ha constituït

107. Projecte de llei número 121/000060 d'economia sostenible. BOCG. Congrés dels Diputats, Sèrie A. 9 d'abril de 2010.

108. BOE de 10 de març de 2005. D'acord amb la disposició final segona, aquesta Llei es dicta a l'empara de les competències exclusives de l'Estat que preveu l'article 149.1.13a i 23a de la Constitució, en matèria de bases i coordinació de la planificació general de l'activitat econòmica i de legislació bàsica sobre protecció del medi ambient, llevat de la disposició addicional segona, sense perjudici de les competències d'execució que tenen les comunitats autònomes en matèria de legislació de medi ambient. Posteriorment ha estat modificada pel Reial decret llei 5/2005, d'11 de març, de reformes urgents per a l'impuls a

fins a la data, i encara constitueix, la norma bàsica aplicable a aquesta matèria en l'ordenament espanyol. Aquesta norma va representar la transposició a Espanya de la Directiva 2003/87/CE, de 13 d'octubre 2003, per la que s'estableix un règim per al comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a la Comunitat. En els paràgrafs següents es dona una idea del funcionament del sistema europeu de comerç d'emissions, tant des del punt de vista de la llei 1/2005 com de la seva revisió.

14.2.5.1. El règim de la Llei 1/2005 i les seves normes de desenvolupament

El règim original de la llei 1/2005 es construeix sobre una sèrie de pilars que parteixen de l'aprovació per cadascun dels Estats Membres d'un Pla nacional d'assignació de drets d'emissió, en què es determina la quantitat de drets d'emissió que s'assignarà durant el període que es tracti i es distribueixen entre els diferents sectors inclosos en el sistema. A partir d'aquestes premisses es construeix un sistema d'assignació concreta de quotes d'emissió, atorgament d'autoritzacions, registre i verificació, amb les competències distribuïdes entre l'administració estatal i les autonòmiques¹⁰⁹.

a) Autoritzacions d'emissió

La tramitació i l'atorgament de les autoritzacions d'emissió és competència de les comunitats autònomes. Per contra, l'atorgament de quotes als titulars de les autoritzacions d'emissió es confereix al Consell de ministres, d'acord amb

les previsions del Pla Nacional d'Assignació¹¹⁰. L'assignació individualitzada de drets d'emissió s'efectua a sol·licitud de l'interessat, mitjançant resolució del Consell de Ministres, a proposta dels ministres d'Economia i Hisenda, d'Indústria, Turisme i Comerç, i de MMARM, prèvia consulta a la Comissió de coordinació de les polítiques de canvi climàtic i tràmit d'informació pública. La sol·licitud d'assignació de drets d'emissió l'ha de presentar el titular de la instal·lació al MMARM, però es presenta físicament davant la finestra autonòmica (l'òrgan autonòmic competent per tramitar l'autorització d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle). El sol·licitant ha d'acreditar la fiabilitat de la documentació aportada, i pot acreditar-se, entre altres mitjans, mitjançant un certificat de la comunitat autònoma en el territori de la qual s'ubiqui la instal·lació. El silenci es considera negatiu si als tres mesos no s'ha produït decisió expressa.

b) Sistema de verificació

La Llei 1/2005 inclou també un sistema de verificació i seguiment que ha estat desenvolupat pel Reial decret 1315/2005, de 4 novembre, que estableix les bases dels sistemes de seguiment i verificació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en les instal·lacions incloses en l'àmbit d'aplicació de la Llei 1/2005, que regula el règim del comerç de drets d'emissió. A grans trets, els titulars de les instal·lacions estan obligats remetre a l'òrgan autonòmic competent un informe

la productivitat i per a la millora de la contractació pública, i per la Llei 22/2005, de 18 de novembre, per la qual s'incorporen a l'ordenament jurídic espanyol diverses directives comunitàries en matèria de fiscalitat de productes energètics i electricitat i del règim fiscal comú aplicable a les societats matrius i filials d'estats membres diferents, i es regula el règim fiscal de les aportacions transfrontereres a fons de pensions en l'àmbit de la Unió Europea.

109. En general, correspon a l'Estat la formulació del Pla nacional d'assignació de drets d'emissió; l'assignació individualitzada de drets d'emissió i el Registre Nacional de Drets d'Emissió (RENADE). Les comunitats autònomes són competents per a l'autorització d'emissió (amb notificació al RENADE), l'aprovació del Pla de seguiment, la validació de l'informe de seguiment (amb notificació al RENADE), l'aplicació del règim sancionador i l'acreditació de verificadors.

110. Ordre PRE/3420/2007, de 14 de novembre, per la qual es publica l'Acord de Consell de Ministres pel qual s'aprova l'assignació individual de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a les instal·lacions incloses en el Pla Nacional d'Assignació de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, 2008-2012 (BOE 27.11.2007). Acord de Consell de Ministres pel qual s'aprova l'assignació individual de drets d'emissió al primer conjunt d'instal·lacions que sol·liciten assignació com a nova entrant del període 2008-2012 i es troben incloses en l'àmbit d'aplicació de la Llei 1/2005, de 9 de març, per la qual es regula el règim del comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle (20 de març de 2009). Acord de Consell de Ministres pel qual s'aprova l'assignació individual de drets d'emissió al segon conjunt d'instal·lacions que sol·liciten assignació com a nova entrant del període 2008-2012 i es troben incloses en l'àmbit d'aplicació de la Llei 1/2005, de 9 de març, per la qual es regula el règim del comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle (20 de març de 2009).

verificat sobre les emissions de CO₂ de l'any precedent. L'òrgan autonòmic s'ocupa de donar conformitat a aquest informe, prèvia comprovació, i tot seguit, de registrar la xifra d'emissions verificada, que permet quantificar els drets la cancel·lació dels quals ha de sol·licitar el titular.

c) Registre

A través de la modificació de la Llei 1/2005, operada mitjançant el Decret-llei 5/2005, es crea el Registre Nacional de Drets d'Emissió (RENADE), que es configura com «l'instrument a través del qual s'assegura la permanent actualització de la comptabilitat relativa als drets d'emissió». La seva organització i funcionament es regula en el Reial decret 1264/2005, de 21 d'octubre, pel qual es regula l'organització i el funcionament del Registre nacional de drets d'emissió. Les tarifes estan regulades per l'Ordre MAM/1445/2006, de 9 de maig, que regula les Tarifes del Registre Nacional de Drets d'Emissió.

d) Organització

La Llei 1/2005 preveu dos òrgans a què hem fet referència anteriorment: la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic, i la comissió que actua com Autoritat Nacional Designada. Addicionalment, en l'article 14 preveu unes taules de diàleg social, la composició i funcionament de les quals han estat regulats posteriorment pel Reial decret 202/2006, de 17 de febrer.

e) Sancions

Les sancions per incompliment d'aquesta normativa són imposades per les comunitats autònomes a menys que s'hagi ocultat informació exigida per a l'assignació o s'hagi incomplert l'obligació de lliurar drets d'emissió, supòsits aquests en què les imposa el Consell de Ministres.

Finalment, ha de tenir-se en compte que el règim de comerç de drets d'emissió s'aplica a una sèrie de sectors que, des d'un punt de vista temporal, no cobreixen la totalitat de sectors amb incidència en aquest fenomen i que, precisament per això, han estat objecte d'ampliacions que mencionarem més endavant. Pel que fa a les instal·lacions regulades, el llistat concret de les instal·lacions incloses en l'àmbit d'aplicació de la normativa esmentada es va adoptar provisionalment mitjançant

Resolució de 7 de setembre de 2004. Per adoptar la decisió s'apunta que es van tenir en compte els resultats dels qüestionaris realitzats a les principals organitzacions corresponents al sector de generació elèctrica i sectors de l'annex I de la Directiva, el Registre Estatal d'Emissions i fonts contaminants, establert conforme a la Decisió de la Comissió Europea 2000/479/CE; el Registre d'instal·lacions de producció d'energia en règim ordinari i en règim especial, i la base de dades de grans focus puntuals de l'Inventari Nacional d'Emissions de Gasos a l'Atmosfera. Prèviament a la decisió es va sotmetre a informació pública i es va atendre a les corresponents alegacions. El llistat d'instal·lacions es va convertir en definitiu una vegada va finalitzar el procediment d'assignació de drets establert en la normativa¹¹¹.

14.2.5.2. Incorporació de la revisió del sistema comunitari de comerç de drets d'emissió

El règim comunitari de comerç de drets d'emissió ha estat objecte d'una revisió profunda, per mitjà de 2 directives: la Directiva 2008/101/CE (que inclou l'aviació en el sistema, que concedeix un termini de transposició fins al 2 de febrer de 2010), i la Directiva 2009/29/CE (que introdueix una reforma significativa del règim general del

111. En relació amb el seguiment de l'aplicació de la Llei, s'observa un comportament diferent segons el sector. Així, per exemple, i d'acord amb les dades de l'Informe de seguiment de l'aplicació de la Llei 1/2005 per a l'any 2008, que resumeix els resultats obtinguts el 2008, primer any del segon període d'aplicació del comerç de drets d'emissió 2008-2012, cal destacar que les emissions totals dels sectors subjectes al comerç de drets d'emissió han disminuït un 12,4% el 2008 pel que fa a l'any anterior. El sector de generació elèctrica, responsable de més del 50% de les emissions dels sectors afectats, ha registrat una disminució del 16,1%. L'evolució de les diferents tecnologies és molt diferent. Així, les emissions en generació amb carbó disminueixen un 36,3%, mentre que les corresponents al cicle combinat augmenten en grau similar, un 32,9%. Es posa de manifest un desplaçament dins la generació tèrmica cap a la tecnologia menys emissora. En els sectors industrials s'observa una disminució de les emissions també molt notable, que assoleix el 10,2%. Pel que fa a la comparativa entre emissions i assignació de drets, considerant el conjunt d'instal·lacions afectades pel règim de comerç de drets d'emissió, es dona un dèficit del 5,9%. Nota del MIMARM: *Aplicació de la Llei 1/2005 emissions verificades davant assignacions: any 2008*. Disponible a www.mmarm.es. Les dades que apareixen representades corresponen al contingut del Registre el dia 30 d'abril de 2009.

sistema europeu de comerç d'emissions a partir de l'any 2013, i que ha de ser transposada abans del 31 de desembre de 2012, encara que preveu una transposició anticipada per a determinades disposicions). Des del punt de vista del dret intern, la transposició d'aquestes directives està tenint lloc en dues etapes. Així, algunes obligacions de notificació imposades en les directives 2009/29/CE i 2008/101/CE, que requerien transposició anticipada per motius d'urgència, van ser incorporades a través de la Disposició final segona de la Llei 5/2009, de 29 de juny. En qualsevol cas, el gruix de la transposició s'està duent a terme mitjançant la tramitació d'un projecte de llei que esmenarà la Llei 1/2005.

Destaquem finalment que, a efectes pràctics, convé no oblidar que es donarà una situació de convivència temporal de tres règims diferents (l'actual, el règim aplicable a l'aviació, i el nou règim de sistema europeu de comerç d'emissions generalitzat a partir de l'1 de gener de 2013).

a) Disposicions d'informació aplicables als nous sectors i operadors d'aeronaus a la Llei 5/2009

La Disposició Addicional Segona de la Llei 5/2009, de 29 de juny¹¹², estableix diverses obligacions d'informació per a sectors que s'incorporen al règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. En aquest sentit, els titulars de les instal·lacions que desenvolupen activitats enumerades en l'Annex i que no es trobin subjectes al règim de comerç de drets d'emissió en el període 2008-2012 hauran de presentar, abans de 30 d'abril de 2010, als òrgans competents de les comunitats autònomes, dades d'emissions corresponents als anys 2007 i 2008, de conformitat amb la normativa comunitària i amb el que es determini reglamentàriament. Aquestes dades hauran de presentar-se degudament documentades i verificades de manera independent per un verificador

acreditat en l'àmbit del comerç de drets d'emissió. Els òrgans competents de les comunitats autònomes els remetraran a la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic en un termini màxim de deu dies des de la seva recepció.

D'altra banda, l'apartat 2 d'aquesta Disposició Addicional Segona estableix també obligacions per als operadors d'aeronaus¹¹³, que cal complir en el marc del que estableix la Decisió de la Comissió 2009/339/CE, de 16 d'abril de 2009, per la qual es modifica la Decisió 2007/589/CE en relació amb la inclusió de directrius per al seguiment i la notificació d'emissions i dades sobre les tones-quilòmetre resultants de les activitats d'aviació. En aquest sentit, cada operador d'aeronaus la gestió del qual correspon a Espanya d'acord amb els criteris definits en l'Annex, haurà de dur a terme el seguiment de les emissions de diòxid de carboni de les aeronaus que operen des de l'1 de gener de 2010. A més, ha de realitzar el seguiment de les dades de tones-quilòmetre en relació amb les activitats d'aviació realitzades per ells l'any 2010. Finalment, estableix també que els esmentats operadors haurien de presentar abans del 31 d'agost de 2009, davant el Ministeri Foment, una proposta de pla de seguiment de les emissions de CO₂ i d'un pla de seguiment de les dades de tones-quilòmetre transportades. Aquests plans proposen les mesures per realitzar el seguiment i la notificació de les seves dades d'emissions i de tones-quilòmetre transportades. El Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí, a proposta del Ministeri de Foment, hauria d'aprovar els plans de seguiment

112. Llei 5/2009 per la qual es modifiquen la Llei 24/1988, de 28 de juliol, del mercat de valors, la Llei 26/1988, de 29 de juliol, sobre disciplina i intervenció de les entitats de crèdit, i el text refós de la Llei d'ordenació i supervisió de les assegurances privades, aprovat per Reial Decret Legislatiu 6/2004, de 29 d'octubre, per a la reforma del règim de participacions significatives en empreses de serveis d'inversió, en entitats de crèdit i en entitats asseguradores. BOE de 30 de juny de 2009.

113. Els operadors d'aeronaus a què es refereix aquesta Disposició Addicional Segona són aquells que duguin a terme vols amb origen o destí en un aeròdrom situat en el territori d'un Estat membre de la Unió Europea i siguin titulars d'una llicència d'explotació vàlida, concedida pel Ministeri de Foment de conformitat amb el que disposa el Reglament (CE) núm. 1008/2008 del Parlament Europeu i del Consell, de 24 de setembre de 2008, sobre normes comunes per a l'explotació de serveis aeris en la Comunitat, així com aquells que no siguin titulars d'una llicència d'explotació vàlida concedida per un Estat membre de la Unió Europea, les emissions de diòxid de carboni dels quals en l'any de referència siguin majoritàriament atribuïbles a Espanya d'acord amb els criteris establerts en la Directiva 2008/101/CE, del Parlament europeu i del Consell, de 19 de novembre de 2008, per la qual es modifica la Directiva 2003/87/CE per tal d'incloure les activitats d'aviació en el règim comunitari de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle.

abans del 31 de desembre de 2009. La Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic informà a la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic dels plans de seguiment aprovats.

Les disposicions de la Llei 5/2009 han estat desenvolupades recentment pel Reial decret 341/2010, de 19 de març, pel qual es desenvolupen determinades obligacions d'informació per a activitats que s'incorporen al règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. El Reial decret esmentat incideix en una sèrie d'aspectes com les directrius per a l'estimació de les emissions del 2007 i 2008 per part dels titulars de les instal·lacions, els requisits per a la verificació de les dades d'emissions, la informació que ha de notificar-se a l'òrgan competent de la comunitat autònoma i l'abast de l'acreditació exigible als verificadors que realitzin aquesta verificació de les noves activitats.

b) El projecte de Llei de reforma de la Llei 1/2005

El gruix de la transposició del paquet europeu de directives sobre el canvi climàtic 2008-2009 s'està duent a terme mitjançant la tramitació d'una llei que esmeni la Llei 1/2005. Després dels treballs duts a terme durant l'any 2009, el Projecte de llei que modifica la Llei 1/2005, de 9 de març, per la qual es regula el règim del comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle per perfeccionar i ampliar el règim general de comerç de drets d'emissió i incloure l'aviació, ha estat finalment presentat el 27 de gener de 2010 al Congrés dels Diputats¹¹⁴.

114. BOCG. Congreso de los Diputados. Serie A de 9 de febrero de 2010 Núm. 57-1. Per la seva banda, la Nota del Consell de Ministres de 22 de gener de 2010, publicada quan el Consell de Ministres va aprovar la remissió del avantprojecte de llei a les Corts Generals, va valorar, entre altres qüestions, que la nova norma respon a la necessitat d'harmonitzar el funcionament del règim en vigor per aprofitar millor els seus beneficis potencials, evitar distorsions al mercat comunitari interior i facilitar vincles entre règims de comerç de drets d'emissió. Així mateix, ha estat objectiu principal de la reforma incrementar la previsibilitat i ampliar l'àmbit d'aplicació del règim per donar cabuda a nous sectors i gasos que compleixen les condicions necessàries per ser regulats mitjançant un instrument normatiu d'aquest tipus. Igualment, respon a la necessitat d'incorporar les activitats d'aviació en el règim a partir de 2012. http://www.la-moncloa.es/ConsejodeMinistros/Referencias/_2010/refc20100122.htm#DerechosEmisi%C3%B3n.

Es dicta en virtut dels títols competencials de l'article 149.1.13a 20a i 23a de la Constitució, i presenta una sèrie de canvis pel que fa al règim de la Llei 1/2005 que passem a ressenyar, prèvia advertència que, atès que es troben pendents d'aprovació diversa desenvolupaments de les directives europees, el projecte de llei de transposició preveu en conseqüència una gran quantitat de desplegaments reglamentaris.

Pel que fa als seus continguts, cal destacar que el projecte de llei, a part de noves definicions per a l'aviació, i de preveure una revisió per a les autoritzacions d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle cada 5 anys amb el pla de seguiment com un element clau en el control de les emissions¹¹⁵, incideix d'una manera especial en l'àmbit d'aplicació. Així, en relació amb les instal·lacions fixes, s'inclouen les de producció d'alumini, coure i zinc; les d'assecat i calcinat de guix; diversos subsectors del sector químic, i la captura i emmagatzematge geològic de carboni.

En relació amb el règim d'assignació de drets d'emissió a instal·lacions fixes, la novetat fonamental consisteix en el fet que desapareixen els plans nacionals d'assignació a partir de 2013. Això és congruent amb el mecanisme adoptat per la Directiva 2009/29/CE, de manera que la quantitat de drets d'emissió es determina a escala europea¹¹⁶. Finalment, cal destacar que la nova normativa projectada, si prospera, incidirà també en determinats aspectes com l'assignació gratuïta transitòria en sectors industrials, aclareix que els drets d'emissió es poden portar entre períodes, i incideix també en aspectes sancionadors i d'informació fonamentalment en relació amb l'aviació, amb intervenció tant del Ministeri de Foment com del MMARM.

115. D'acord amb l'Exposició de Motius del projecte de llei *...El pla de seguiment ha anat cobrant més gran rellevància en el sistema de seguiment, verificació i notificació de les emissions, d'aquí que finalment s'opti per integrar-lo en l'autorització...* Així mateix, es preveu l'establiment d'obligacions sobre l'ús de sistemes automatitzats i formats d'intercanvi de dades.

116. El volum total de drets es determina utilitzant l'assignació que es va aprovar en el conjunt dels Estats membres per al període 2008-2012. Es parteix del punt mitjà d'aquest període i es redueix anual i linealment un 1,74%. Això correspon, aproximadament, a una reducció del 21% el 2020 pel que fa a 2005 per al conjunt de sectors afectats pel comerç de drets d'emissió.

14.2.6. Incorporació de la Directiva sobre emmagatzematge geològic de carboni i la normativa recent sobre gasos fluorats

En aquest últim apartat, dedicat a donar compte de les principals línies de l'actuació de l'Estat en matèria de canvi climàtic, cal referir-se a una recent iniciativa legislativa en tramitació al Congrés dels Diputats i al Reial decret aprovat en relació amb alguns aspectes del règim de gasos fluorats. En aquest sentit, el Butlletí Oficial de les Corts Generals del 16 d'abril de 2010 va publicar el Projecte de Llei d'emmagatzematge geològic de diòxid de carboni¹¹⁷, pel qual s'incorpora a l'ordenament espanyol la Directiva 2009/31/CE, del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'abril de 2009, relativa a l'emmagatzematge geològic de diòxid de carboni i per la qual es modifiquen la Directiva 85/337/CEE del Consell, les directives 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE i el Reglament (CE) n.º 1013/2006. D'acord amb la seva exposició de motius, la Llei projectada es limita a regular l'activitat d'emmagatzematge geològic de diòxid de carboni, i només es refereix d'una manera episdica a la captura i el transport. En relació amb la captura, les instal·lacions dedicades a aquesta activitat se sotmeten a la normativa sobre control integrat de la contaminació, per la qual cosa necessitaran obtenir la corresponent autorització. El Projecte de Llei distribueix les competències en aquest camp entre l'administració estatal i les de les comunitats autònomes de la manera que examinarem breument en l'apartat de conclusions.

Més recent és la normativa relacionada amb el règim aplicable als gasos fluorats, que estan en bona part inclosos en Protocol de Montreal sobre substàncies que esgoten la capa d'ozó i al Protocol de Kyoto sobre gasos amb efecte d'hivernacle. En aquest sentit, el Consell de Ministres de 16 de juny de 2010 ha aprovat el Reial Decret pel qual es regula la comercialització i manipulació de gasos fluorats i equips que s'hi basen, així com la certificació dels professionals que els utilitzen. Amb l'objectiu d'evitar la seva emissió mitjançant el control de les fuïtes dels equips que els utilitzen

i la seva recuperació, el Reial decret estableix un règim essencialment dirigit a regular les condicions dels professionals involucrats en la manipulació d'aquests gasos. Estableix també algunes mesures addicionals en desenvolupament de la Llei de qualitat de l'aire i protecció de l'atmosfera de 2007 (com ara la restricció de la venda de refrigerants, l'obligació d'assegurar per part dels venedors d'aquests equips que la instal·lació dels equips de climatització la realitzin determinades empreses), així com certes disposicions que afecten l'emmagatzematge, el transport, la regeneració o la destrucció d'aquestes substàncies com a residus.

14.3. Intervenció jurídica de Catalunya davant el canvi climàtic

14.3.1. Els compromisos adquirits (remissió)

Els compromisos i obligacions que assumeix l'Estat espanyol i que li són jurídicament exigibles en tant que Part al CMCC i al PK i, així mateix, en tant que Estat membre de la UE, són també en bona part compromisos de Catalunya. Cal, doncs, donar per reproduït aquí tot allò que prèviament ha estat esmentat en els apartats anteriors. Així, el fet que l'Estat sigui l'obligat formalment, que sigui el destinatari oficial de les diverses exigències analitzades, no ha de fer desconèixer quines són les competències que per al seu assoliment adequat poden i han de ser exercides per part de comunitats autònomes com Catalunya. Esdevé necessari, doncs, i amb caràcter previ, determinar exactament quines competències són pròpies de la Generalitat. A partir d'aquí, l'objectiu d'aquest apartat consistirà en recordar quines són les actuacions realitzades a data d'avui des d'aquest àmbit territorial (siguin de caire organitzatiu, normatiu o executiu). Això ens permetrà en l'apartat final valoratiu determinar quins són els reptes que poden ser vàlidament assumits dins el marc jurídic competencial que li és d'aplicació. En aquest sentit, confirmant allò que ja esmentàvem en el primer informe sobre canvi climàtic pot entendre's que els tipus d'actuacions que potencialment es poden dissenyar sobre canvi climàtic i a realitzar des de Catalunya, se situen bàsicament en dos fronts: el primer fa referència directa a la possibilitat

117. Projecte de Llei número 121/000078, d'emmagatzematge geològic de diòxid de carboni. BOCG. Congrés dels Diputats. Sèrie A. Projectes de Llei. 16 d'abril de 2010. Núm. 78-1.

d'incentivar la participació de la Generalitat en les diverses decisions que pren l'Estat i que afecten l'exercici de les seves competències sectorials que incideixen sobre el canvi climàtic. El segon es dirigirà ja a l'àmbit intern català, pel qual seran esmentades diverses actuacions que de manera exemplificativa i sense ànim d'exhaustivitat podrien ser endegades des de Catalunya.

14.3.2. L'Estatut d'Autonomia de Catalunya de 2006. Al·lusions al canvi climàtic i competències de la Generalitat de Catalunya que poden ser exercides quan s'hi vol incidir

L'òptica subestatal (autonòmica i local) és habitualment del tot necessària per a l'assoliment efectiu de compromisos sobre canvi climàtic i sovint ha demostrat ser, en el dret comparat, especialment activa i innovadora. Com és conegut, indústria, energia, transport, agricultura, infraestructures i fonamentalment, medi ambient, entre d'altres, són aspectes habitualment presents a les agendes públiques de les comunitats autònomes, tot derivant-se directament del marc constitucional i estatutari.

La Generalitat de Catalunya gaudeix, com es comprovarà a continuació, d'un ventall important de competències d'aquesta índole que li permeten actuar sobre les causes i els efectes del canvi climàtic, possibilitant per tant l'adopció i implementació d'una política pròpia per enfrontar-se a aquesta problemàtica. Cal en qualsevol cas parar atenció sobre allò que disposa l'Estatut d'Autonomia per conèixer quines són les competències de què disposa la Generalitat amb caràcter exclusiu i quines són les competències compartides. D'aquesta manera serà possible escatir quins són els límits que ha de respectar la Generalitat i conèixer, així mateix, en quines matèries, i sobre quines funcions caldrà establir mecanismes de col·laboració interadministrativa per a l'assoliment d'objectius sobre canvi climàtic.

Es tracten en primer lloc els títols competencials que apareixen a l'Estatut d'Autonomia de Catalunya de 2006 (EAC) i que son més rellevants als efectes que es tracten en aquest llibre. Prèviament a aquest esment cal remarcar que l'Estatut d'Autonomia de Catalunya aprovat el 2006 inclou referències directes i explícites al canvi climàtic, aspecte aquest que, a més d'altres que

també seran objecte d'atenció a continuació, constitueix una novetat a ressaltar en relació a allò que disposava l'Estatut d'Autonomia de 1979.

– En primer lloc cal estar al títol primer de l'Estatut d'Autonomia en tant que s'hi regulen els «Drets deures» i també els «principis rectors». Pel que fa, primer, als drets i deures, innovació de l'Estatut de Catalunya de 2006, en destaquem l'article 27. Aquest precepte, tot regulant els drets i deures amb relació al medi ambient determina que

1. Totes les persones tenen dret a viure en un medi equilibrat, sostenible i respectuós amb la salut, d'acord amb els estàndards i els nivells de protecció que determinen les lleis. També tenen dret a gaudir dels recursos naturals i del paisatge en condicions d'igualtat, i tenen el deure de fer-ne un ús responsable i evitar-ne el malbaratament. Volem destacar especialment el seu apartat 2, perquè s'hi determina que «Totes les persones tenen dret a la protecció davant les diferents formes de contaminació, d'acord amb els estàndards i els nivells que determinen les lleis».

En el mateix títol primer de l'Estatut hi localitzem també els principis rectors, principis que orienten les polítiques públiques de Catalunya. Entre ells hi destaca l'article 46, dedicat al Medi ambient, desenvolupament sostenible i equilibri territorial. El precepte determina que els poders públics han de vetllar per la protecció del medi ambient adoptant polítiques públiques basades en el desenvolupament sostenible i la solidaritat col·lectiva i intergeneracional. Es vol remarcar el fet que, de forma expressa, en referir-se a l'ambient atmosfèric, en el seu paràgraf segon, fa una al·lusió literal al canvi climàtic. En aquell indret es determina que

Les polítiques mediambientals s'han de dirigir especialment a la reducció de les diferents formes de contaminació, la fixació d'estàndards i de nivells mínims de protecció, l'articulació de mesures correctives de l'impacte ambiental, la utilització racional dels recursos naturals, la prevenció i el control de l'erosió i de les activitats que alteren el règim atmosfèric i climàtic, i el respecte als principis de preservació del medi, conservació dels recursos naturals, responsabilitat, fiscalitat ecològica i reciclatge i reutilització dels béns i els productes.

Així doncs, igual que en referència a la resta de principis rectors, en l'exercici de llurs competències, els poders públics de Catalunya han de promoure i adoptar les mesures necessàries per garantir-ne l'eficàcia plena. A més, el reconeixement, el respecte i la protecció d'aquests principis rectors cal que informin la legislació positiva, la pràctica judicial i l'actuació dels poders públics. Aquests principis, com també determina el mateix precepte, poden ser exigibles davant la jurisdicció, però únicament d'acord amb el que determinen les lleis i les altres disposicions que els despleguen.

A més a més de les referències que es localitzen dins el títol primer de l'Estatut, cal estar també, i molt especialment, a les al·lusions que apareixen al títol IV, relatiu a les competències. En aquest títol hi trobem les competències concretes de què disposa la Generalitat de Catalunya, distingint-s'hi entre les que són competències exclusives i les que són compartides i les executives. Cal tenir present que quan parlem de competències exclusives, es tracta d'aquelles (article 110) per a les que correspon a la Generalitat, i de manera íntegra, la potestat legislativa, la potestat reglamentària i la funció executiva, podent establir per a elles, polítiques pròpies. D'altra banda, quan es fa referència a les competències compartides, s'ha d'entendre que són aquelles (article 111) per a les que correspon a la Generalitat, de manera compartida amb l'Estat, la potestat legislativa, la potestat reglamentària i la funció executiva, però, respecte aquest especialment remarcable, en el marc de les bases que fixi l'Estat. Per a aquestes competències, també la Generalitat pot establir polítiques pròpies, dins el marc d'actuació en el que poden ser exercides. Per últim, quan es fa referència a les competències executives, correspon a la Generalitat la potestat reglamentària, que comprèn l'aprovació de disposicions per a l'execució de la normativa de l'Estat, i també la funció executiva (potestat d'organització de la seva pròpia administració i, en general, de totes les funcions i activitats necessàries per implementar les disposicions). Així mateix, cal tenir present, perquè es un aspecte sobre el qual caldrà insistir posteriorment, que correspon a la Generalitat el desplegament, l'aplicació i l'execució de la normativa de la Unió Europea

quan afecti l'àmbit de les competències de la Generalitat a què a continuació farem referència. Així es declara expressament a l'article 113 de l'Estatut.

– Cal començar, en primer lloc, fent esment a les al·lusions directes que s'hi realitzen en el text als gasos amb efecte d'hivernacle (canvi climàtic), concepte aquest que apareix també per primer cop dins el catàleg de competències de la Generalitat reconegudes per l'Estatut d'Autonomia. Concretament, l'article 144 determina que en matèria ambiental la Generalitat gaudeix de competències (compartides amb l'Estat) i de la possibilitat d'establir normes addicionals de protecció. Entre el llistat de submatèries ambientals s'hi troben expressament esmentades algunes especialment transcendents per al nostre estudi, com són:

h) La regulació de l'ambient atmosfèric i de les diverses classes de contaminació d'aquest, la declaració de zones d'atmosfera contaminada i l'establiment d'altres instruments de control de la contaminació, amb independència de l'administració competent per autoritzar l'obra, la instal·lació o l'activitat que la produeixi.

i) La regulació del règim d'autorització i seguiment de l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle.

– Més enllà d'aquestes referències expressives, cal parlar esment en el catàleg de competències de què disposa la Generalitat i que li permeten treballar en la matèria que ens ocupa. Entre les matèries sobre les que la Generalitat disposa de competència exclusiva cal destacar així mateix, les següents:

- Agricultura, ramaderia i aprofitaments forestals (article 116).
- Aigua i obres hidràuliques (pel que fa a aigües que pertanyin a conques hidrogràfiques intra-comunitàries) (article 117).
- Caça, pesca, activitats marítimes i ordenació del sector pesquer (article 119).
- Comerç i fires (121).
- Consum (article 123).
- Emergències i protecció civil (article 132).
- Energia i mines (article 133).
- Habitatge (article 137).

- Indústria, artesania, control metrològic i contrastació de metalls (article 139).
- Infraestructures del transport i de les comunicacions (article 140).
- Obres públiques (article 148).
- Ordenació del territori i del paisatge, del litoral i urbanisme (article 149).
- Recerca, desenvolupament i innovació tecnològica (article 158).
- Transports (article 169).
- Turisme (article 171).

L'Estatut de Catalunya determina que la Generalitat pot exercir competències de forma compartida amb l'Estat i competències executives sobre un ventall addicional de matèries. Algunes d'elles poden ser especialment transcendents quan es desitja intervenir sobre el canvi climàtic. Ens referim:

a) En primer lloc, a les competències compartides en matèria de medi ambient (article 144) i concretament, a les competències sobre:

- Establiment i regulació dels instruments de planificació ambiental i del procediment de tramitació i aprovació d'aquests instruments.
- Establiment i regulació de mesures de sostenibilitat, fiscalitat i recerca ambientals.
- Regulació dels recursos naturals, de la flora i la fauna, de la biodiversitat, del medi ambient marí i aquàtic si no té per finalitat la preservació dels recursos pesquers marítims.
- Regulació sobre prevenció en la producció d'envasos i embalatges en tot llur cicle de vida, des que es generen fins que passen a ésser residus.
- Regulació sobre prevenció i correcció de la generació de residus amb origen o destinació a Catalunya i sobre la gestió i el trasllat d'aquests i llur disposició final.
- Regulació en la prevenció, el control, la correcció, la recuperació i la compensació de la contaminació de sòl i subsòl.
- Regulació i gestió dels abocaments en aigües interiors i intervenció administrativa dels abocaments en les aigües superficials i subterrànies.
- Prevenció, restauració i reparació de danys al medi ambient, i també el règim sancionador corresponent.
- Espais naturals protegits.

- Establiment d'un servei meteorològic propi, subministrament d'informació meteorològica i climàtica, incloent-hi el pronòstic, el control i el seguiment de les situacions meteorològiques de risc, i també la recerca en aquests àmbits i l'elaboració de la cartografia climàtica.

b) També cal tenir present que en matèries sobre les que la Generalitat té, com a regla general, competències exclusives, hi ha determinades submatèries sobre les que observem que únicament disposa de competències compartides o de competències executives. Ens referim, per exemple, a les següents:

- Planificació de l'agricultura i la ramaderia i del sector agroalimentari (article 116).
- Regulació i règim d'intervenció administrativa i d'usos de la forest, dels aprofitaments i els serveis forestals, i de les vies pecuàries de Catalunya (article 117).
- Domini públic hidràulic i obres d'interès general. Participació en la planificació i la programació de les obres d'interès general de l'Estat (article 117).
- Ordenació del sector pesquer (article 119).
- Salvament marítim i seguretat nuclear (article 132).
- Energia (article 133) (entenent que s'hi troba com a submatèria i funció, el foment i la gestió de les energies renovables i de l'eficiència energètica).
- Règim miner (article 133).
- Planificació de la indústria, en el marc de la planificació general de l'economia (article 139).
- L'execució i la gestió de les obres d'interès general situades al litoral català (d'acord amb el que estableix l'article 148).
- L'ordenació de l'activitat econòmica a Catalunya (article 152).

Malgrat que les referències que acabem de realitzar són les que presenten *prima facie* més interès, també seran esmentats en aquest capítol altres preceptes de l'Estatut d'Autonomia de Catalunya quan entenguem que aquests, de manera individualitzada, poden habilitar actuacions de la Generalitat en matèria de canvi climàtic.

Un cop exposat aquest ventall d'al·lusions que es troben a l'Estatut d'Autonomia de Catalunya aprovat el 2006, la primera conclusió que cal extreure, és que el nou text, en relació amb allò objecte de tractament a l'anterior, clarifica i detalla el context competencial que regeix a Catalunya sobre aquesta matèria. També confirma aquella idea que ja preconitzàvem llavors, és a dir, que les competències de què disposa la Generalitat són suficients per emparar una política pròpia sobre aquesta matèria, respectant determinats límits (que es deriven del dret internacional, comunitari europeu, i també estatal). Aquest es un àmbit, doncs, que exigeix reaccions urgents i enèrgiques en un entorn que es caracteritza per un increment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle que, com hem pogut comprovar aquests anys, compromet seriosament l'assoliment dels compromisos internacionals i comunitaris exigibles. El marc jurídic regulador de base ja es més precís que aquell de què disposàvem l'any 2005, i això indubtablement ajuda en qualsevol presa de decisió. Aquest marc competencial aixopluga sense problemes una política pròpia, una política que pugui adequar les diverses decisions a adoptar a les característiques internes catalanes dels diversos sectors implicats. És possible, doncs, i del tot recomanable, com ja es deia en el primer informe¹¹⁸, l'adopció d'una estratègia catalana i l'adopció de totes les mesures necessàries per a la seva implementació.

14.3.2.1. Actuacions realitzades

Si a les pàgines anteriors han estat esmentades les competències de què disposa la Generalitat de Catalunya i que li permeten iniciar actuacions per lluitar contra el canvi climàtic, a continuació es comenta quines són les iniciatives realitzades fins a l'actualitat a dos nivells. En primer lloc, les de caire estrictament organitzatiu, i en segon, les iniciatives concretes de caire normatiu i executiu.

a) Organització administrativa

Les actuacions públiques a realitzar sobre canvi climàtic són i han de ser coherents amb la transversalitat que li és tan característica. En tant que incideixen en diversos sectors, és habitual que siguin també diversos els departaments i altres

òrgans de la comunitat autònoma els que hagin de ser cridats a desenvolupar aquestes tasques, amb menor o major incidència. A Catalunya, en general, la problemàtica del canvi climàtic ha estat des d'un bon principi vinculada més estretament a les funcions que es desenvolupen des del Departament de Medi Ambient (avui Departament de Medi Ambient i Habitatge), fonamentalment per referència a les tasques que li han estat assignades en relació amb la tutela de la qualitat de l'aire i el clima. Però si en el primer informe sobre el canvi climàtic es cridava l'atenció sobre la necessitat de millorar l'estructura organitzativa en el si de la Generalitat per afrontar vàlidament els diversos reptes que acompanyen aquesta problemàtica, en aquest segon informe ja es pot donar compte de novetats significatives. Concretament, del fet que l'any 2006 es produís una reforma organitzativa a partir de la qual fossin creats dos òrgans que responen, en la seva formulació a allò que suggeríem l'any 2005, moment en què instàvem a treballar de forma més àmplia i d'una manera molt més transversal. Ens referim, concretament, a allò que es disposa en el Decret 573/2006, de 19 de desembre, de reestructuració parcial del Departament de Medi Ambient i Habitatge, norma que obre la porta al naixement de la Comissió Interdepartamental del Canvi Climàtic i també, de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic.

La primera referència jurídica a la Comissió Interdepartamental del Canvi Climàtic es troba a la disposició addicional tercera del Decret 573/2006, precepte on es diu que per tal de coordinar l'actuació del Govern en la lluita contra el canvi climàtic es crea, sota la dependència del Departament de Medi Ambient i Habitatge, la Comissió Interdepartamental del Canvi Climàtic. Es tracta d'una iniciativa similar a la que han realitzat altres comunitats autònomes com la de les Illes Balears i també la Comunitat valenciana. En l'acord de govern esmentat es donen algunes dades inicials que resulten interessants, com són que aquesta comissió està integrada per un representant de cadascun dels departaments de l'Administració de la Generalitat directament afectats. També es diu que la seva composició i els objectius seran fixats mitjançant acord del Govern de la Generalitat i que l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic serà l'òrgan que li donarà el suport tècnic que necessiti en la seva actuació.

118. Llebot, 2005.

L'acord de Govern de 13 de febrer de 2007 desplega els aspectes que necessiten major concreció i emfasitza la voluntat de l'executiu català que la nova Comissió s'erigeixi com a òrgan coordinador i de decisió i impuls dins del Govern de les accions per lluitar contra el canvi climàtic. Entre els objectius que el Govern assigna a la comissió s'hi troben, expressament, empenyer actuacions de caràcter transversal entre diferents departaments per afavorir l'adaptació al canvi climàtic a fi de disminuir els seus efectes a Catalunya; promoure accions per disminuir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, responsables del canvi climàtic i, aspecte aquest també transcendent, fer el seguiment i l'avaluació de les actuacions anteriors.

Pel que fa a la seva composició, a més del conseller del Departament de Medi ambient i Habitatge (que presideix la comissió) hi localitzem un representant de cadascun dels departaments de la Generalitat que es consideren afectats. Es tracta d'onze vocals, entre els quals es garanteix representació dels departaments de Medi Ambient i Habitatge, Economia i Finances, Política Territorial i Obres Públiques, Agricultura, Alimentació i Acció Rural, Salut, Treball, Interior, Relacions Institucionals i Participació, Innovació, Universitats i Empresa, Educació, Presidència i Vicepresidència. En atenció als temes a tractar hi poden ser convidades d'altres persones.

La reunió de constitució de la Comissió es va produir el 5 de març de 2007. S'han celebrat des de llavors diverses sessions, amb una periodicitat aproximada trimestral, i s'hi han realitzat treballs d'especial interès com els de la preparació de la Convenció Catalana de Canvi Climàtic; i hi han estat aprovats documents rellevants com el que va ser acordat a la sessió de 18 de juny de 2007 referit a les aportacions del Govern de Catalunya a *La propuesta del gobierno para el Consejo Nacional del Clima, la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático y consulta pública sobre l'Estratègia espanyola de canvi climàtic i energia neta horitzó 2012*; s'hi ha presentat l'Estratègia espanyola de canvi climàtic i energia neta, Horitzó 2007-2012-2020 (EECCCEL), i el procés de consulta pública del Llibre verd de la Comissió Europea sobre l'adaptació al canvi climàtic a Europa. Actuacions com aquestes confirmen que la perspectiva i els objectius que acompanyaven

la creació d'un òrgan com la comissió interdepartamental són especialment oportunes i del tot adequades a les finalitats que cal assolir. Queda per determinar si aquesta transversalitat i manera de treballar que en principi és del tot recomanable acaba imitant, és a dir, acaba anant més enllà de la superfície i incideix directament en les polítiques i en l'execució diària de les funcions que han de realitzar cadascun dels departaments que conformen aquesta comissió.

L'altre òrgan que cal necessàriament esmentar és l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic. També ha estat creada a partir del Decret 573/2006, de 19 de desembre, de reestructuració parcial del Departament de Medi Ambient i Habitatge. En el seu article 3 determina que el nou òrgan neix sota la dependència de la Direcció General de Polítiques Ambientals i Sostenibilitat d'aquest departament, amb rang orgànic de subdirecció general. L'Oficina Contra el Canvi Climàtic es configura, des de la seva creació, com el referent organitzatiu més clar i més visible en la matèria, en tant que és l'encarregada de vetllar per la implantació de les mesures contra el canvi climàtic i el compliment del protocol de Kyoto. Més concretament, entre els objectius generals de l'Oficina, s'hi troben els següents¹¹⁹:

– En relació amb la Comissió Interdepartamental de Canvi Climàtic, òrgan al qual dona suport: impulsar i proposar a la comissió una estratègia catalana del canvi climàtic, vinculada a l'estratègia catalana per al desenvolupament sostenible i participar de forma activa en la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic (òrgan estatal al qual ja hem fet referència) i en els processos de participació de les comunitats autònomes en la presa de decisions en el marc europeu.

– A més a més, els seus objectius, en la seva activitat ordinària, són els següents:

- Dinamitzar i coordinar totes les polítiques públiques per reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya.

119. Vegeu, per totes, la descripció que de les seves funcions en realitza a «Les 100 primeres pàgines del canvi climàtic a Catalunya», capítol d'antecedents del *Pla d'acció del canvi climàtic a Catalunya*. Esborrany de 31 de gener de 2008, p. 101-102. http://www.mediambient.gencat.net/cat/el_medio/C_climatic/occc/docs/100.pdf.

- Promoure i impulsar les polítiques domèstiques de reducció de gasos amb efecte d'hivernacle als sectors que no inclou la Directiva de comerç de drets d'emissió, és a dir, l'anomenat sector difús. Concretament, els sectors sobre els quals es vol actuar són: transport i mobilitat; agrícola, ramader i forestal; institucional, residencial i serveis, i residus industrials i domèstics.
- Donar suport a les polítiques de reducció d'emissions en les instal·lacions que inclou la Directiva de comerç de drets d'emissió, i a la utilització, si convé, dels mecanismes de flexibilitat del Protocol de Kyoto.
- Impulsar polítiques d'adaptació al canvi climàtic, amb especial atenció a les zones més vulnerables.
- Millorar els embornals catalans (boscós).
- Difondre, conscienciar, formar i concertar amb la societat civil, l'àmbit acadèmic i els sectors empresarials, tots els aspectes relacionats amb el canvi climàtic.
- Donar suport a la comunitat científica catalana per a la recerca, l'estudi i la comprensió del canvi climàtic a Catalunya seguint les directrius europees i de les Nacions Unides.

És prematur valorar a fons el funcionament i els resultats d'una nova estructura administrativa que té únicament tres anys de vida. Tot sembla confirmar que s'han produït avenços improbables sota el règim organitzatiu anterior i que, a més de concentrar funcions, prèviament disperses, ha servit per visualitzar més adequadament la intervenció de la Generalitat sobre aquesta matèria. En poc temps des de la seva creació, concretament mitjançant acord de Govern de 30 de setembre de 2008, s'ha aprovat El Pla català de mitigació del canvi climàtic 2008-2012 per al compliment del Protocol de Kyoto. El pla va ser elaborat precisament per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, a partir de gairebé un miler de propostes rebudes de la societat catalana durant el procés participatiu de la Convenció Catalana del Canvi Climàtic i, prèviament a la decisió de Govern de la Generalitat que li havia de donar llum verda, va ser adoptat per la Comissió Interdepartamental del Canvi Climàtic. L'organització administrativa especialitzada que ha adoptat la Generalitat de Catalunya per al canvi climàtic finalitza amb

l'esment als dos òrgans a que acabem de fer referència. Hi ha altres entitats en el si de la Generalitat, de l'existència de les quals ja ens fèiem ressò en l'anterior informe, que cal també recordar per les seves competències i per les seves actuacions en els darrers anys, des d'una perspectiva més sectorial.

En aquest sentit, per exemple, cal parlar esment en el Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS), creat el 1998 com a òrgan de participació, de consulta i d'assessorament del Govern de la Generalitat en relació amb les polítiques i actuacions que tinguin incidència sobre el medi ambient i el desenvolupament sostenible. Les seves iniciatives per fomentar el coneixement en matèria de canvi climàtic i, especialment, les recomanacions que adreça als ciutadans i fonamentalment als poders públics presenten un cop més, un especial interès¹²⁰. El CADS treballa transversalment, gaudeix d'autonomia funcional, emet informes i propostes (de caire no vinculant) al Govern i s'adscriu actualment al Departament de la Vicepresidència¹²¹. Cal també tenir present el Servei Meteorològic de Catalunya, atès que d'acord amb la Llei 15/2001 de 14 de novembre, de Meteorologia (art. 4.2 q), exerceix entre d'altres la funció d'estudiar i analitzar el canvi climàtic a Catalunya i participar i col·laborar en les recerques que sobre aquesta matèria a porten a terme diversos grups a Catalunya¹²².

En conclusió, doncs, s'observa, en els darrers anys, una millora organitzativa en el si de la Generalitat per afrontar amb més decisió i coherència els reptes que comporta el canvi climàtic. L'objectiu va més enllà de la simple millora de l'actuació interna. Com es pot observar, entre les tasques a dur a terme s'hi troba la de participar activament en les tasques que són encomanades

120. Vid. www.gencat.cat/cads/, on es poden trobar referències a múltiples iniciatives realitzades amb el canvi climàtic. Actualment, entre altres, les següents: «el CADS a la cimera de Copenhaguen», «Reptes per a la Sostenibilitat a Catalunya» (centrat en eixos com poden ser el canvi climàtic i el model energètic), «Per un bon clima. Calculadora de carboni», «El canvi climàtic a les glaceres dels Pirineus», «Aigua i canvi climàtic a la Mediterrània», etc.

121. Anteriorment havia estat adscrit al Departament de la Presidència. Per a més informació, consulteu el web esmentat a la nota 120.

122. Vegeu també, en general, www.meteo.cat.

per l'Estat a la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic i també incidir en aquells mecanismes en què es possible que les comunitats autònomes puguin deixar la seva empremta quan s'adopten decisions en el marc comunitari europeu que afectaran les polítiques i actuacions que es duen a terme en Catalunya.

b) Exercici de competències sobre el canvi climàtic: funcions normatives i funcions executives

A continuació esmentem les actuacions ja realitzades i les iniciatives i polítiques més imminents que estan desenvolupant el Parlament i la Generalitat de Catalunya amb relació al canvi climàtic, tot distingint entre funcions pròpiament normatives dins l'àmbit parlamentari català, i altres que són exercides des del Govern i l'administració catalana. Es destaquen les que es consideren més importants, sense ànim d'exhaustivitat, atès que son moltes les iniciatives normatives o les actuacions que estan sent endegades sectorialment i que poden incidir directament o indirecta sobre àmbits d'actuació pública que tenen una estreta connexió (agricultura, energia, residus, transport etc...)

b.1) Actuacions exercides des del Parlament de Catalunya

No són gaires les normes aprovades pel Parlament de Catalunya que directament o indirecta s'adrecen a aquesta matèria, perquè l'activitat normativa ha estat exercida, fonamentalment en l'Administració de la Generalitat, com comprovarem a continuació. En qualsevol cas, cal fer esment a:

- L'aprovació de la Llei 9/2003, de 13 de juny, de la mobilitat, a la qual posteriorment tornarem a fer referència, en tant que norma que confirma la relació entre la mobilitat i el canvi climàtic i que preveu que entre els objectius que han de satisfer les polítiques de mobilitat que s'apliquin a Catalunya hi ha el de (article 3.t) *Impulsar l'ús eficient dels recursos energètics per tal de disminuir les emissions que provoquen l'efecte d'hivernacle i lluitar contra el canvi climàtic d'acord amb els tractats internacionals vigents sobre la matèria*. Entre la normativa sectorial parem esment també en una altra norma amb rang de llei, concretament

la Llei 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de la lluminació exterior per a la protecció del medi nocturn. L'objectiu és combatre la contaminació lumínica mitjana, la regulació de les instal·lacions, aparells i instrumental d'il·luminació exterior i interior.

- El Parlament també pot discutir i aprovar **resolucions**, referides a assumptes d'interès especial i per mitjà de les quals la cambra manifesta una opinió o una voluntat, invita a fer determinades actuacions o dóna suport a algú. Doncs bé, entre les resolucions del Parlament de Catalunya que tenen interès per a la matèria que ens ocupa s'hi troba la Resolució 217/VIII del Parlament de Catalunya, sobre l'aplicació del Reglament CE 842/2006, sobre determinats gasos fluorats amb efecte d'hivernacle, i la lluita contra el canvi climàtic. Aquesta resolució va ser adoptada per la Comissió Parlamentària de Medi Ambient i Habitatge en la Sessió núm. 18, 11.06.2008. En aquesta resolució el Parlament de Catalunya insta el Govern català a:

a) Desenvolupar el procés d'elaboració dels procediments per al control i el seguiment del Reglament CE 842/2006, sobre determinats gasos fluorats amb efecte d'hivernacle, en els terminis que aquest estableix, i que han d'ésser determinats per la Comissió Europea.

b) Desenvolupar aquest procés en el marc de la comissió interdepartamental creada per decret el 19 de desembre de 2006, formada pels departaments de la Presidència, de la Vicepresidència, d'Economia i Finances, d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural, d'Educació, d'Innovació, Universitats i Empresa, d'Interior, de Salut, de Treball, i de Política Territorial i Obres Públiques, i presidida pel Departament de Medi Ambient i Habitatge, per coordinar la lluita contra el canvi climàtic.

En anys anteriors també havien estat adoptades altres resolucions interessants, com van ser, i ja en donàvem compte en l'anterior informe, l'aprovació, l'any 1998, de la Resolució 584/V, sobre l'avaluació de les emissions de gasos que causen l'efecte d'hivernacle i les fonts que les originen. S'hi instava el Govern de la Generalitat a:

- a) Avaluar les emissions de gasos que causen l'efecte d'hivernacle directament i indirectament, i les fonts principals que les originen.

b) Elaborar una estratègia catalana de canvi climàtic que estableixi el conjunt de mesures en l'àmbit de les emissions, de l'ús d'energies, del transport i de la gestió ambiental aplicables a Catalunya, i oferir col·laboració als ajuntaments perquè puguin assumir el paper que han de tenir com a administració més propera al ciutadà i com a ens més dinàmics en la salvaguarda i defensa del medi ambient.

També es va aprovar el 1996 la Resolució 191/V, mitjançant la qual el Govern és instat a ajustar la seva actuació als principis que deriven del Protocol de Montreal i als principis que deriven del Conveni sobre el Canvi Climàtic, amb les modificacions que s'hi vagin fent.

El Parlament també pot fer **Declaracions**, que són textos que expressen la posició institucional de la cambra en aspectes que es consideren especialment rellevants. Entre les més recents emeses per part del Parlament de Catalunya cal destacar la Declaració del Parlament de Catalunya de suport a la reunió de les Nacions Unides a Barcelona per preparar la Conferència de les Parts de Copenhaguen llegida en el Ple del Parlament el dia 29 d'octubre de 2009. En la declaració, el Parlament de Catalunya insta totes les parts implicades a

Intentar que les converses de Barcelona conduïxin a un acord en favor d'un significatiu compromís mundial que tingui com a objectiu la lluita contra el canvi climàtic. Un acord que ha d'assumir la responsabilitat compartida però no igual dels estats, que entén que les economies industrialitzades han d'assumir llur responsabilitat històrica i establir mecanismes justos de finançament i governança, i també un acord que reconegui explícitament el paper dels governs no estatals que, com el de Catalunya, compleixen una funció important en l'aplicació pràctica i efectiva de les polítiques de mitigació del canvi climàtic i d'adaptació a aquest. L'esperit de diàleg, pacte i compromís tant en l'àmbit europeu com en l'àmbit internacional que ha inspirat els millors moments de la història de Catalunya serà també l'aportació de Catalunya en aquest procés. La cita de Barcelona és una nova oportunitat per a palesar aquest compromís i encoratjar tots els agents i el conjunt de la ciutadania catalana a participar-hi plenament i a implicar-s'hi.

A més de les lleis, resolucions i declaracions esmentades cal tenir presents altres actuacions d'interès com poden ser les interpellacions al Govern. Entre elles, en destaquem: Interpel·lació al Govern sobre les mesures per minimitzar els efectes del canvi climàtic sobre el delta de l'Ebre (11 de maig de 2009); interpel·lació genèrica al Govern sobre el canvi climàtic (19 de febrer de 2007) etc. L'Interès del Parlament de Catalunya pel canvi climàtic s'ha fet pales també, en els darrers temps, amb les compareixences. Entre elles en destaquem la sessió informativa de la Comissió de Medi Ambient i Habitatge que es va tenir amb el conseller de Medi Ambient i Habitatge l'11 de març de 2009 sobre els treballs que estava duent a terme el departament amb relació al canvi climàtic.

b.2) Actuacions realitzades per part de la Generalitat de Catalunya

Les principals iniciatives que han vist la llum són l'aprovació del Pla de mitigació del canvi climàtic i la del Decret 397/2006, de 17 d'octubre, pel que fa al comerç del dret d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Hi ha altres actuacions que presenten rellevància des del punt de vista jurídic a les quals, sense ànim d'exhaustivitat, també farem referència.

Pla de mitigació del canvi climàtic i el seu desplegament

Més enllà de les iniciatives que hagin pogut veure la llum aquests darrers anys i que són específicament de caire normatiu —a què posteriorment farem referència— l'actuació de la Generalitat de Catalunya d'aquests darrers anys ha estat centrada en actuacions encaminades a poder disposar d'un instrument d'ampli abast que servís per al compliment del Protocol del Kyoto. Es tracta del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012, l'objectiu del qual és contribuir, pel que fa a Catalunya, en la part proporcional al compliment del compromís assumit per part de l'Estat espanyol. El Pla, aprovat a la tardor del 2008, va ser dissenyat amb caràcter continuista, per ser hàbil, així mateix, d'incorporar els acords que poguessin anar negociant-se dins l'àmbit de la Comunitat Europea per reduir els gasos amb efecte d'hiverna-

cle (GEH) per al període 2013-2020. El procediment per a la seva elaboració i aprovació presenta especial interès. El document resultant aprovat pel Govern va ser acordat en la Comissió Interdepartamental del Canvi Climàtic, però cal tenir en compte que havia estat elaborat prèviament per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, a partir de les propostes i suggeriments que van ser rebuts de la societat catalana durant l'important procés participatiu en que consistí la Convenció Catalana del Canvi Climàtic.

Els trets essencials del Pla de mitigació són:

– Des d'un punt de vista general cal dir que és el primer instrument que s'apropa a aquest àmbit d'aplicació amb voluntat de fer-ho de manera coordinada i integrada dins el conjunt de l'acció de govern. També es presenta com a fruit de la coordinació i concertació amb la societat civil i amb l'empresariat català.

– Parteix de la base, com hem pogut confirmar en pàgines anteriors, que Catalunya té un gran espai competencial per mitigar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en els sectors difusos (les no cobertes per la directiva de comerç de drets d'emissions), que corresponen al transport, l'agricultura, el sector domèstic, de serveis i la indústria no inclosa en la directiva, els residus i els dissolvents, amb un increment no superior al 37% respecte a l'any base. Per això el Pla de mitigació es marca l'objectiu de no superar les emissions dels sectors difusos en un 37% d'increment respecte d'aquell any. Segons les projeccions de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, per establitzar les emissions difuses a Catalunya caldrà aplicar accions que redueixin i evitin els increments d'emissions en un total de 5,33 milions de tones de CO₂ eq. anuals durant el període 2008-2012.

– Es procedeix a realitzar una quantificació dels esforços que haurà d'assumir cada sector, tot individualitzant les accions que caldrà dur a terme per mitigar les emissions:

- Sector agrícola: 0,259 Mt CO₂ eq/any.
- Construcció i ús d'habitatges: 0,447 Mt CO₂ eq/any.
- Sector dels serveis: 0,314 Mt CO₂ eq/any.
- Indústria no sotmesa a la Directiva: 1,159 Mt CO₂ eq/any.
- Prevenció i tractament de residus 0,325 Mt CO₂ eq/any.
- Transport i mobilitat: 1,86 Mt CO₂ eq/any.
- *Domestic Offset Projects* (mecanisme dissenyat per estimular econòmicament la reducció interna de les emissions de GEH dels sectors no coberts per la directiva de comerç de drets d'emissions): 0,966 Mt CO₂ eq/any¹²³.

– De l'assoliment dels diferents objectius de reducció queda individualitzat també quin serà el departament impulsor, aspectes que concretament afecten els departaments d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural; Economia i Finances; Medi Ambient i Habitatge, Política Territorial i Obres Públiques, i Innovació, Universitats i Empresa.

– El cost global de la implementació del Pla s'estima en 196,1 milions d'euros l'any (0,1% del PIB, calculat respecte al PIB a preus de mercat del 2006), sufragats per l'Administració pública i amb la col·laboració de les empreses i altres institucions de la societat civil.

– Per acabar, cal recordar quins són els tres objectius estratègics que es fixa el Pla. Concretament, més enllà de l'objectiu primer, reduir el creixement de les emissions de sectors difusos al 37% i, per tant, evitar l'emissió de 5,33 Mt de CO₂ eq. anuals pel que fa als sectors que no estan inclosos en el mercat d'emissions (sectors difusos) en el període 2008-2012. L'objectiu estratègic número dos se centra en l'àmbit dels sectors sotmesos a la directiva de mercat d'emissions. Per a ells es vol impulsar la reducció d'emissions i l'ús de combustibles alternatius i també fomentar la participació en mecanismes flexibles del Protocol de Kyoto. D'aquesta manera es preveu que les instal·lacions catalanes podran estar en condicions de competitivitat amb les altres presents en el comerç europeu de drets d'emissions.

123. Dins el Pla marc de mitigació s'hi localitza com a subprograma 1.7 l'anomenat «Acords voluntaris i experiències pilot de *Domestic Offset Projects* per a la mitigació del canvi climàtic». Es tracta d'un subprograma que presenta especial interès. Entre les accions que cal que l'implemmentin s'hi troba la de creació d'un Registre d'empreses adherides al programa d'acords voluntaris; l'impuls i suport a aquests acords voluntaris, fins i tot en base a un procediment preparat per a l'adhesió voluntària d'empreses, institucions, administracions públiques, associacions, etc.

El tercer i darrer objectiu estratègic consisteix en impulsar accions transversals encaminades a millorar el coneixement del canvi climàtic mitjançant la recerca i la sensibilització, la formació i la participació. D'aquesta manera s'entén que s'hi veurà beneficiada la presa de decisions en els àmbits institucional, empresarial, col·lectiu i personal. Els tres objectius esmentats es concreten en tres programes (Programa 1: Reducció d'emissions en sectors difusos; programa 2: Suport a les instal·lacions cobertes per la directiva de comerç de drets d'emissió; i Programa 3, que integra les accions transversals per a la mitigació. Tots ells es divideixen en subprogrames, cadascun dels quals integra i suma el total de les accions concretes a dur a terme.

— Des de l'adopció del Pla marc de mitigació va quedar clar que l'instrument aniria acompanyat de programes d'actuacions específiques per als períodes 2008-2010 i 2011-2012, eines de desplegament i concreció que establiran les accions específiques que cal desenvolupar, detallant el departament responsable, el pressupost, el termini d'execució i la previsió de reducció d'emissions. La primera ja ha vist la llum. Encara que amb una rúbrica diferent a la que va ser inicialment prevista per aquest instrument, recentment ha estat aprovat el document anomenat *Desplegament 2008-2009 del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012* (març de 2010). Com el mateix document indica, es tracta d'una primera avaluació qualitativa del Pla marc de mitigació, duta a terme per part de l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic. Valora el progrés de les mesures i accions que han estat implementades des de 2008 per part dels diferents departaments del Govern. D'aquesta manera poden ser detectats els aspectes sobre els que cal incidir especialment i també aquells que cal modificar o reincorporar¹²⁴. Però, no únicament visualitza l'esforç departamental i els obstacles que s'hi troben per a l'assoliment de les objectius, sinó que també es

una eina útil per donar a conèixer a la ciutadania el progrés que s'està duent a terme a Catalunya. En aquest sentit, val la pena remarcar que aquest document de desplegament ja determina que més del 85% de les accions que havien estat compromeses dins el Pla marc ja s'han iniciat (entre 2008 i 2009). Això vol dir que a Catalunya s'estan executant 35 accions de les 41 que s'hi estableixen inicialment¹²⁵. També coneixem, de la seva lectura, que actualment s'executa un total de 186 actuacions en matèria de lluita contra el canvi climàtic (i un 41% d'elles es detalla que tenen entre un progrés avançat o molt avançat)¹²⁶.

El Pla de mitigació, en termes jurídics, constitueix una eina no únicament necessària i esperada, sinó també especial, en els termes que esmentarem en les conclusions, i incrementa la seva utilitat en tant que es concreta en programes específics. Però es clar que, en qualsevol cas, el més transcendent d'aquest instrument és que se'n pugui garantir el seguiment, conèixer el seu grau d'execució/aplicació, i que sigui una eina que permeti redreçar actuacions i addicionar-n'hi de noves, arribat el cas que no fossin assolits els resultats esperats o que canviessin els escenaris sobre els que s'ha estat treballant¹²⁷.

Altres instruments adoptats a Catalunya

En els darrers anys les iniciatives (fonamentalment de caire normatiu) promogudes pels poders públics a Catalunya i que es vinculen directament o indirecta, o que simplement es fan ressò del fenomen del canvi climàtic, han estat múltiples. En destaquem les següents:

En el marc de la normativa reguladora del comerç de dret d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle

Cal començar esmentant el Decret 397/2006, de 17 d'octubre, d'aplicació del règim de comerç

124. El document «Desplegament 2008-2009 del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012» (març de 2010). Pot consultar-se a <http://www20.gencat.cat/docs/canviclimatic/Home/Politiques/Politiques%20catalanes/La%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic/Pla%20marc%20de%20mitigacio%20del%20canvi%20climatic%20a%20Catalunya%202008-2012/desplegament.pdf>.

125. «Desplegament 2008-2009»... pàg. 16.

126. «Desplegament... pàg. 101».

127. En aquest sentit, en un clar afany de realisme, resulta especialment destacable el fet que el Desplegament del Pla 2008-2009 contingui (vid. pàg. 80), un seguit de mesures anticrisi i l'impacte que es considera que tindran sobre l'evolució de les emissions de GHE. Es considera que algunes d'aquestes mesures tenen la possibilitat d'esdevenir mesures impulsores d'una transició cap a una societat baixa en carboni.

de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle i de regulació del sistema d'acreditació de verificadors d'informes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Entre les funcions executives que cal necessàriament que dugui a terme la comunitat autònoma catalana s'hi troba l'exercici de funcions d'autorització i seguiment que tenen a veure amb l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Si en el primer informe donàvem compte de l'aprovació i també del contingut del Decret 390/2004, de 21 de setembre, avui cal estar al nou text normatiu que regula més àmpliament la matèria, desenvolupant i adaptant-se a la normativa estatal i comunitària, i derogant el Decret anteriorment esmentat. Es tracta del Decret 397/2006, de 17 d'octubre, d'aplicació del règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle i de regulació del sistema d'acreditació de verificadors d'informes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Avui cal conèixer aquesta norma en la regulació d'aquesta matèria tant pel que fa als seus aspectes organitzatius com pel que fa a efectes substantius o de fons que vol ordenar. El Decret 39/2006 té un triple objecte, que desenvolupem a continuació de forma sumària:

a) Establir el règim jurídic de les autoritzacions d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle i la validació de l'informe anual de seguiment de les emissions. En aquest sentit, la norma regula com es procedeix a la tramitació i l'atorgament de l'autorització d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, així com la seva modificació i extinció, amb un protagonisme clar de la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient. Els sol·licitants, d'acord amb el Decret, hauran de presentar uns models d'instància preconfigurats en els annexos d'aquesta norma, que han d'anar acompanyats de la informació allí requerida. En el Decret es regula el contingut mínim de l'autorització que serà eventualment atorgada i es determina també que les decisions a adoptar han de comunicar-se en qualsevol cas als ajuntaments dels municipis on es trobin ubicades les instal·lacions autoritzades.

El Decret també exigeix que, pel que fa a les sol·licituds d'assignació de drets d'emissió, correspon també a la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient i

Habitatge la seva tramitació i posterior tramesa al Ministeri de Medi Ambient en el termini màxim de 10 dies. I correspon a la Direcció General de Qualitat Ambiental validar, a proposta de la ponència ambiental, l'informe verificat de les emissions que presenten els titulars d'instal·lacions incloses a la Llei estatal 1/2005, i és aquest mateix òrgan el que inscriu la dada corresponent al Registre nacional de drets d'emissió. El Decret determina, per últim, i pel que fa a Catalunya, quins són els òrgans concrets del Departament de Medi Ambient i Habitatge que han d'exercir la potestat sancionadora. I conté una novetat d'especial d'interès, consistent en què es preveu que la Generalitat elabori i publiqui al DOGC (i procedeixi també a la seva divulgació) guies per als titulars d'instal·lacions afectades per aquesta norma, perquè els interessats puguin disposar d'una adequada metodologia de seguiment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

b) El segon objecte del Decret és el de regular el procediment d'acreditació de verificadors d'informes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, el seu funcionament i seguiment de les actuacions de verificació. La norma, cal recordar-ho, estén el seu àmbit d'aplicació a tots els verificadors d'informes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle que s'acreditin d'acord amb el Decret o portin a terme les seves actuacions a Catalunya en el marc de la Directiva 2003/87/CE, de 13 d'octubre. Una novetat addicional que hi localitzem és la creació innovadora de diversos òrgans adscrits a la Direcció General de Qualitat Ambiental. Concretament, el Comitè d'acreditació, que es crea com a òrgan col·legiat encarregat de garantir la imparcialitat i la representació de totes les parts implicades en el procediment. També es crea la Comissió tècnica per l'aplicació del règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, que neix per tal d'assistir tècnicament a la Direcció General de Qualitat Ambiental en els aspectes relacionats amb l'acreditació i el funcionament dels verificadors d'informes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, i que duu a terme la seva tasca mitjançant l'elaboració d'instruccions tècniques que han de ser aprovades pel/per la director/a general de Qualitat Ambiental. Per últim, es crea i es regula també el que s'anomena 'registre de verificadors

d'informes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle', i es regulen, de forma especialment curiosa, el procediment d'autorització, el reconeixement d'acreditacions realitzades per part d'altres comunitats autònomes o Estats membres, la inscripció, el seguiment i també la pèrdua d'aquesta inscripció.

c) El tercer objecte declarat del Decret és el de determinar quins són els òrgans competents per al règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. En aquest sentit, i de la mateixa manera que ho feia prèviament el Decret 390/2004, es decideix l'any 2006 que correspon a la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient i Habitatge tramitar i resoldre, a proposta de la Ponència ambiental, les autoritzacions d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle així com les modificacions i la seva extinció per a les instal·lacions catalanes incloses en l'àmbit d'aplicació de la legislació estatal (Llei 1/2005, de 9 de març, per la qual es regula el 'règim del comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle'; validar, a proposta de la Ponència ambiental, l'informe verificat de les emissions que presentin els titulars d'instal·lacions autoritzades, i tramitar les sol·licituds d'assignació de drets d'emissió i les sol·licituds d'exclusió temporal en el termes previstos a la disposició transitòria quarta de la Llei estatal 1/2005.

Actuacions en el marc de la legislació sectorial (mobilitat, energia etc...)

Són moltes les actuacions que podríem incloure en aquest apartat. N'esmentem algunes de les que considerem més rellevants, habitualment per raó del rang de l'instrument que les adopta o bé pel seu abast, tenint present i sense perjudici que moltes d'elles i els instruments que les desenvolupen o detallen poden ser consultades directament en el document *Desplegament 2008-2009 del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012* (març de 2010).

En aquest sentit, en els darrers anys s'ha procedit a l'aprovació de programes de mobilitat sostenible elaborats en el marc de la Llei 9/2003, de mobilitat. Es tracta fonamentalment de plans sectorials, és a dir, de *plans d'incidència territorial que elaboren els departaments en àmbits temàtics de la seva competència. El seu àmbit d'aplicació és tot el*

*territori de Catalunya*¹²⁸. Entre ells, volem destacar:

- Pla d'infraestructures del transport de Catalunya (2006-2026)¹²⁹
- Pla de ports de Catalunya (2007-2015)¹³⁰
- Pla d'aeroports, aeròdroms i heliports de Catalunya (2009-2015)¹³¹
- Pla de transport de viatgers de Catalunya (2008-2012)¹³²

128. Segons explica el mateix Departament a la seva web «...Aquests plans han de contenir una estimació dels recursos disponibles, de les necessitats i dels dèficits, territorialitzats en el sector corresponent. També han de contenir la determinació de les prioritats d'actuació i la definició d'estàndards i normes de distribució territorial» <http://www10.gencat.cat/ptop/AppJava/cat/plans/sectors/psectorials.jsp>.

129. Pla d'infraestructures del transport de Catalunya (2006-2026), consultable a <http://www10.gencat.cat/ptop/AppJava/cat/plans/sectors/pitc.jsp>. Constitueix una eina especialment interessant pel compromís directe que adopta vers la disminució dels GEH i que constitueix un dels seus objectius. Concretament, s'hi determina que *...per tal de contribuir al compliment de l'Acord de Kyoto, els consums d'energia i les emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera generats pel transport interurbà haurien de disminuir, tot l'augment previsible de la mobilitat. Per fer-ho possible, el PITC proposa, en línia amb el Llibre blanc de transport de la Unió Europea i el PEIT, augmentar significativament la quota del ferrocarril i del transport públic en el repartiment modal, tant en l'àmbit de viatgers com en el de mercaderies*.

130. Pla de ports de Catalunya (2007-2015), consultable a <http://www10.gencat.cat/ptop/.../cat/plans/.../plaports.jsp>. Aquest pla constitueix un instrument que palesa la preocupació per la incidència ambiental d'aquestes infraestructures. Vol promoure un ús portuari eficient i sostenible i pretén potenciar instal·lacions amb menor impacte ambiental negatiu. Tot amb tot, s'hi troben a faltar referències i propostes d'actuació dirigides especialment a la mitigació o adaptació.

131. Pla d'aeroports, aeròdroms i heliports de Catalunya (2009-2015), consultable a http://www10.gencat.cat/ptop/.../plans/.../pla_aeroports.jsp. Ens trobem també aquí davant una eina important en tant que es reconeix dins el mateix pla (pàgina 99 i següents) que el transport aeri aporta un 3 % de les emissions de CO₂ a l'atmosfera a la UE, i que aquesta font de contaminació augmentarà pel creixement previst de l'aviació a la UE i arreu. En tot cas sembla que l'increment de vols pot venir compensat en la millora tecnològica de les aeronaus, i les millores en les operacions aèries. Les emissions a l'atmosfera per part de l'aviació es poden classificar en missions locals, que afecten al voltant dels aeroports, i emissions globals, en relació amb el canvi climàtic.

132. Pla de transport de viatgers de Catalunya (2008-2012); consultable a http://www10.gencat.cat/ptop/AppJava/cat/plans/sectors/pla_transports.jsp. Entre els objectius i directius del Pla (vegeu-ne la p. 16 i següents) s'hi troba la 5: *Reducció de les externalitats del transport*. En aquest sentit,

- Pla estratègic de la Bicicleta a Catalunya (2008-2012)¹³³
- Pla de seguretat viària (2008-2010)¹³⁴

– Aprovació del Decret 152/2007 de 10 de juliol, d'aprovació del Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire als municipis declarats zones de protecció especial de l'ambient atmosfèric mitjançant el Decret 226/2006, de 23 de maig.

– Aprovació del Pla de l'Energia de Catalunya (2006-2015), pla que el 2009 ha estat objecte de revisió (complint la previsió que es procediria a la seva revisió amb caràcter triennal) entre altres qüestions per adaptar-lo a situació i compromisos derivats de la problemàtica del canvi climàtic¹³⁵. Aquesta modificació, d'acord amb allò que literalment apareix a la publicació al Diari Oficial de la Generalitat, *té com a visió estratègica fonamental adreçar l'economia catalana cap a una economia de baixa intensitat energètica i baixa emissió de carboni, amb una preponderància manifesta per les tecnologies d'estalvi i eficiència energètica, amb un baix consum d'hidrocarburs fòssils i on, dins*

s'esmenta que cal minimitzar el consum energètic, augmentar el consum d'energies renovables i «netes», assolir paràmetres legals en relació amb la qualitat de l'aire, reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i reduir l'accidentalitat associada a la mobilitat. Concretament, es diu que *Aquestes reduccions esdevenen els objectius mediambientals del PTVC: un volum de trànsit en situació de congestió un 18,7 % inferiors al tendencial; un consum d'energia un 4,66 % inferior al tendencial; unes emissions de CO₂ un 6,47 % inferiors al tendencial; unes emissions de PM un 5,99 % inferiors al tendencial; unes emissions de NOx un 5,55 % inferiors al tendencial.*

133. Pla estratègic de la Bicicleta a Catalunya (2008-2012); consultable a http://www10.gencat.cat/ptop/AppJava/cat/plans/sectors/pla_bicicleta.jsp.

134. Pla de seguretat viària (2008-2010), consultable a <http://www.gencat.cat/transit/pla.htm>.

135. Tal com es pot comprovar a http://www.gencat.cat/economia/doc/doc_47900574_1.pdf, pàg. 4: *L'objectiu principal d'aquesta revisió del Pla de l'energia és actualitzar les seves estratègies i els seus objectius, tenint en compte els esdeveniments que han tingut lloc en el món de l'energia en aquests quatre últims anys (preus cada cop més elevats de l'energia seguits d'una caiguda dràstica dels preus del petroli, nous compromisos mundials, europeus i espanyols en matèria d'energia i canvi climàtic, etc.), i incorporant els efectes que pot tenir l'actual crisi econòmica i financera global sobre la situació energètica.*

*del mixt de l'energia, es maximitza la utilització de les energies renovables*¹³⁶.

– Aprovació del Decret 147/2009, de 22 de setembre, pel qual es regulen els procediments administratius aplicables per a la implantació de parcs eòlics i instal·lacions fotovoltaiques a Catalunya (deroga el Decret 174/2002, d'11 de juny, regulador de la implantació de l'energia eòlica a Catalunya per fomentar la implantació i l'ús generalitzat de les energies netes i renovables a Catalunya). Aquest Decret s'ha vist complementat molt recentment, per part del Govern de la Generalitat, amb l'aprovació de l'Acord del Govern de la Generalitat de Catalunya d'1 juny de 2010 d'aprovació de les Zones de Desenvolupament Prioritari per a l'energia eòlica a Catalunya. Amb aquesta iniciativa es preveu que la instal·lació de parcs eòlics se circumscriurà a aquestes àrees per tal d'harmonitzar el seu desenvolupament amb la preservació ambiental i paisatgística i, aspecte del tot rellevant, que la posada en marxa d'aquestes zones contribuirà al compliment de l'objectiu previst al Pla de l'Energia 2006-2015, que estableix una potencia eòlica de 3.500 MW per al 2015¹³⁷.

És ingent, i per aquest motiu únicament en fem ara un esment del tot genèric, l'activitat d'incrementació i foment que ha estat duta a terme per part de la Generalitat aquests darreres anys pel que fa a actuacions que potencien les actuacions que prioritzen expressament els programes i

136. En el DOGC de 4 de desembre de 2009 s'aprova l'acord de Govern de la Generalitat (GOV/190/2009, de 24 de novembre) d'aprovació de la revisió del Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015. La referència expressa hi consta a la p. 91364.

137. L'Acord de la Generalitat de Catalunya a què fem referència pot ser consultat a http://www.gencat.cat/acordsde/govern/20100601/20100601_AG.pdf. Posteriorment a la seva adopció ha estat iniciat el camí per adjudicar les futures eòliques. Concretament, com a notícia del dilluns 14 de juny de 2010, de d'Institut Català de l'Energia, es fa saber que el Departament d'Economia i Finances obre el concurs per adjudicar l'explotació de 7 zones de desenvolupament prioritari per a l'energia eòlica a Catalunya. Específicament es fa saber que la convocatòria permetrà instal·lar 769 MW i comportarà una inversió total d'uns 1.200 milions d'euros, i que el termini de presentació d'ofertes es tancarà el 26 de juliol (vegeu al web www.gencat.cat/icaen/ l'apartat dedicat a la notícia «Concurs públic per les zones de desenvolupament prioritari (ZDP)»).

subprogrames a què fa referència el Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012. L'increment de les ordres dels diversos departaments de la Generalitat que han estat publicades al DOGC que estableixen subvencions, ajusts, línies de préstec, projectes pilot etc. ha estat veritablement espectacular.

Fins ara s'ha fet referència fonamentalment a actuacions dirigides al que s'anomena, de forma habitual, mitigació del canvi climàtic. També cal tenir present l'adaptació i en aquest sentit, cal donar compte de quines actuacions i instruments disposem a Catalunya que estiguin adreçats concretament a aquesta adaptació. Doncs bé, en aquest punt la Generalitat de Catalunya ha començat encarregant estudis de base amb la voluntat d'encaminar després la seva actuació a l'establiment d'una estratègia dirigida a la prevenció¹³⁸. Han estat realitzats estudis de base d'àmbit territorial (Delta de l'Ebre, Delta de la Tordera) i també de caire sectorial pel que fa a l'aigua i al canvi climàtic. També es preveu realitzar-ne uns altres pel que fa a turisme, mobilitat i salut entre d'altres. Però manca encara una estratègia o pla que afronti de forma decidida aquesta qüestió.

Ens locals de Catalunya i canvi climàtic

138. La Generalitat, segons s'especifica a la pàg 464 de la *Quinta Comunicación Nacional de España. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* que va ser presentada el 18.12.2009, cal entendre que segueix en la fixació d'aquesta estratègia allò que disposa el Llibre Blanc sobre la d'Adaptació al Canvi Climàtic (*LIBRO BLANCO. Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación. Bruselas, 1.4.2009.COM(2009) 147 final*). En aquest sentit, comença amb la realització d'estudis per després fixar l'estratègia de prevenció a partir d'aquells. Recordem que, d'acord amb el llibre blanc (p. 7 i 8) ...*El que es pretén és que en la primera fase (2009-2012) siguin establertes les bases per preparar una estratègia global d'adaptació de la UE que es posarà en pràctica en la segona fase, que començarà el 2013. La primera fase tindrà quatre pilars d'acció: 1) Construir una base de coneixements sòlida sobre l'impacte i les conseqüències del canvi climàtic per a la UE. 2) Integrar l'adaptació en les polítiques clau de la UE. 3) Utilitzar una combinació d'instruments estratègics (instruments de mercat, orientacions, associacions entre el sector públic i el privat) per garantir l'eficàcia de l'adaptació. 4) Reforçar la cooperació internacional en matèria d'adaptació. Perquè la primera fase tingui èxit, ha d'establir-se una cooperació estreta entre les autoritats locals, regionals, nacionals i de la UE.*

Malgrat que no constitueixi pròpiament l'objecte del present capítol, l'apartat que ara està sent desenvolupat no es pot cloure sense un esment, encara que sigui molt puntual, al paper dels ens locals de Catalunya en matèria de canvi climàtic.

Queda confirmada, un cop més la seva competència sobre la matèria. En aquest sentit cal recordar que també ells exerceixen funcions normatives (ordenances) i executives¹³⁹ entre d'altres, en la matèria ambiental, i per tant, que poden incidir de forma creativa i singularment efectiva sobre determinats aspectes del canvi climàtic¹⁴⁰. El fet que davant d'una matèria concreta estiguem sovint davant competències compartides

139. A favor del ens locals, la Constitució espanyola reconeix una garantia d'autonomia per a la gestió dels seus interessos. La seves competències concretes són establertes pel legislador ordinari sigui via la Llei de bases de règim local (o la seva homònima autonòmica, en el nostre cas, la Llei municipal de règim local de Catalunya, LBRL) o d'acord amb allò que disposi la legislació sectorial. Tots els municipis exerceixen competències, per exemple sobre promoció i gestió d'habitatges, protecció del medi ambient, protecció de la salubritat pública, recollida i tractament de residus i transport públic de viatgers. I cal que prestin determinats serveis (entre els quals trobem serveis de caire ambiental) individualment o de forma associada (art. 26 LBRL). L'Estatut d'Autonomia de Catalunya de 2006 determina que es troba entre les competències de la Generalitat (article 160) la determinació de les competències i de les potestats pròpies dels municipis i dels altres ens locals, en els àmbits especificats per l'article 84. En aquest article 84 trobemem: l'ordenació i la gestió del territori, d'urbanisme; la planificació, la programació i la gestió d'habitatge públic; l'ordenació i la prestació de serveis bàsics a la comunitat; la regulació de l'establiment d'autoritacions i promocions de tot tipus d'activitats econòmiques; la formulació i la gestió de polítiques per a la protecció del medi ambient i el desenvolupament sostenible; la regulació, la gestió i la vigilància de les activitats i els usos que es porten a terme a les platges, als rius, als llacs i a la muntanya, etc.

140. En aquest sentit cal que donem compte —en tant que antecedent que brilla amb llum pròpia— que ja l'any 1994 va ser signada la Declaració de Heidelberg dels alcaldes (entre altres, pel de la ciutat de Barcelona). La Declaració va ser realitzada després de la celebració de unes conferències a Heidelberg (7-9 de setembre de 1994) amb el títol *How to Combat Global Warming at the Local Level*, coorganitzades per la OCDE, entre d'altres. Els participants signataris volien deixar constància de la seva intenció de lluitar contra l'escalfament global i millorar el medi ambient; exigien als governs nacionals que donessin suport als municipis en el seu camí per definir objectius apropiats per a un sistema energètic sostenible, i donaven suport a l'objectiu de reduir les emissions de CO₂ en els sectors del transport i de l'energia. També s'obligaven a reduir les emissions CO₂ dins

des entre Estat i comunitats autònomes, no pot fer oblidar l'espai que pot ser omplert per part dels ens locals. Reiterem, doncs, la importància d'aquest nivell territorial per a la matèria que ens ocupa i donem compte també del fet que cada dia tenim constància d'iniciatives transcendents en aquest àmbit que s'adopten¹⁴¹ o bé que es duen a terme —sigui individualment¹⁴² o de forma conjunta o col·laborativa— per part d'aquestes entitats subestatals. Entre elles destaquem, simplement a títol exemplificatiu, la *Red Española de Ciudades por el Clima*¹⁴³, i també *The Climate Group*¹⁴⁴, en l'àmbit regional i local).

l'abast de les seves competències, com a mínim un 20% l'any 2005 respecte dels nivells de 1987, i establien una sèrie de passos com la creació d'inventaris locals de gasos, la promoció de les energies renovables etc.

141. Ha obtingut especial rellevància l'anomenat Pacte d'Alcalde/esses sobre el canvi climàtic, basat en bona part en el «Pla d'acció sobre eficiència energètica: en el que es palesa que per assolir tot el potencial de la Unió Europea cal prioritzar la creació d'un Pacte entre Alcaldes/esses; *vid.* www.bcn.cat/climatechange/docs/cat_convenant_of_mayors.pdf.

142. Així, a títol exemplificatiu, esmentem el «Protocol per a la Sostenibilitat i Canvi Climàtic de Sabadell» que ha estat guardonat per la Diputació de Barcelona com a Millor iniciativa local 2009 en matèria d'estalvi i eficiència energètica. L'instrument, de 23 de gener de 2008, es adoptat pel municipi amb l'objectiu de dotar —lo d'eines per la vertebració de projectes i programes de sostenibilitat i de lluita contra el canvi climàtic. Concretament, quan l'analitzem <http://www.sabadell.cat/CanviClimatic/p/estrategiacanviclimatic_cat.asp> veiem que es constitueix una taula participativa d'assessorament constant al municipi, que formula acords de col·laboració en matèria de canvi climàtic i sostenibilitat per desenvolupar de manera coordinada una estratègia local de mitigació del canvi climàtic (EMMCC). Es persegueix disposar d'actuacions específiques relatives a les emissions difuses, en cada un dels sectors econòmics; desenvolupar un pla d'informació i educació en matèria de mitigació del canvi climàtic i constituir la comissió de coordinació d'aquest protocol entre l'Ajuntament i les entitats interessades en la lluita contra el canvi climàtic de Sabadell. El principal producte generat pel protocol ha estat la generació de l'Estratègia Municipal per a la Mitigació del Canvi Climàtic de Sabadell 2008-2012, però alhora s'han treballat ordenances municipals (sorolls i vibracions, estalvi i regeneració d'aigües), temes de mobilitat, consum responsable, etc. Un catàleg d'especial interès ha estat publicat per la Diputació de Barcelona amb el títol «Mitigació i adaptació local al canvi climàtic. Catàleg de propostes», que es pot consultar a www.diba.es/mediambiente/pdf/canviclimatic.pdf. El text integra un conjunt de fitxes de possibles accions a realitzar, que inclouen també un marc d'experiències contrastades amb indicadors per al seguiment de la seva eficàcia.

14.4. Conclusions

14.4.1. Marc general competencial de l'Estat

Les conclusions corresponents als aspectes jurídics i institucionals en matèria de canvi climàtic han de partir d'una constatació evident, com és que les polítiques de canvi climàtic han adquirit notable importància en els últims anys, tant en l'acció del govern central estatal com en la dels governs autonòmics i de les entitats locals, tot convertint-se en un eix transversal que afecta i ha d'afectar les polítiques sectorials catalanes en matèria d'energia, habitatge, indústria o transports, entre altres. El marc general competencial, com hem observat, es caracteritza pel fet que l'Estat espanyol disposa d'un important ventall de competències que li permeten exercir una pluralitat de funcions en aquesta matèria. Però, d'acord amb la jurisprudència constitucional, el fet que els compromisos derivin de tractats internacionals subscrits per l'Estat espanyol, no ha de significar, com és ben conegut, una automàtica extensió del seu àmbit competencial a totes les activitats relacionades amb el seu desenvolupament, execució o aplicació. Particularment, pel que fa a les normes comunitàries de dret derivat (concretament, ens referim a la transposició i desenvolupament d'allò que regulen les directives comunitàries). És per això que, més enllà de la matèria ambiental, cal conèixer i hem d'estar en qualsevol cas a les competències de què es disposa en relació amb els diversos sectors, competències que també han estat esmentades i que sovint justifiquen actuacions en múltiples sectors.

De la mateixa manera que ho esmentàvem en relació amb el primer informe, en l'anàlisi del bloc de constitucionalitat hem constatat de nou que el rol de Catalunya pot ser important, atès que, més enllà de les competències estatals, veritablement resta encara un important espai per a l'actuació autonòmica en matèria de canvi climàtic. Dins d'aquest marc, la comunitat autònoma de Catalunya pot desenvolupar un paper

143. Vegeu <http://www.redciudadesclima.es/>. Santander acull, els dies 17 i 18 de juny de 2010, la cinquena assemblea d'aquesta xarxa.

144. Vegeu <http://www.theclimategroup.org/>.

essencial, ja sigui des del punt de vista de l'exercici de les seves competències normatives i de les seves competències d'execució —tot respectant el marc establert per part de la normativa estatal bàsica—, ja sigui mitjançant l'aprovació i execució de polítiques pròpies.

14.4.2. Organització administrativa estatal: evolució i formes adoptades

L'Administració General de l'Estat ha adoptat una organització administrativa progressivament especialitzada per enfrontar-se a la matèria *canvi climàtic*. Des d'una perspectiva diacrònica observem l'establiment, el creixement, i la progressiva evolució d'una estructura institucional per establir i coordinar les polítiques i actuacions en aquest camp. Així, cal destacar en primer lloc que l'Administració de l'Estat espanyol ha preparat des de ben aviat la seva estructura interna per a l'adopció d'actuacions en matèria de canvi climàtic mitjançant dos òrgans fonamentals: el Consell Nacional del Clima i l'Oficina Espanyola del Canvi Climàtic. El CNC és un òrgan adscrit al Ministeri de Medi Ambient, Rural i Marí. Ens interessa recalcar que aquest ens elabora recomanacions, propostes (alguna d'elles d'especial entitat com va ser l'Estratègia espanyola) i que és un òrgan col·legiat on hi són representats diversos ministeris però també, i això és rellevant, les comunitats autònomes i els ens locals, entre d'altres. Per la seva banda, l'Oficina Espanyola del Canvi Climàtic es troba integrada directament en l'estructura del Ministeri. Hi són representades les diverses direccions generals ministerials, i exerceix funcions de seguiment, representació, impuls, assessorament, informació i col·laboració en aquesta matèria amb les comunitats autònomes.

Amb el pas del temps, aquesta organització administrativa estatal per al canvi climàtic ha començat a ampliar-se i a reorganitzar-se, potser responent a la idea que cal garantir que es té en compte la transversalitat interministerial que de facto ja es venia produint, i per tal d'instar que les decisions a prendre fossin també adoptades i aplicades per part dels diversos òrgans ministerials. En aquest punt, la novetat més important des de l'informe del 2005 és la reorganització ministerial duta a terme l'any 2008. Aquesta re-

organització, que en essència unifica en un sol departament ministerial les competències dels anteriors ministeris de Medi Ambient i d'Agricultura i Pesca, malgrat que pugui resultar controvertida des d'altres punts de vista (i així ha estat) pot servir a la idea de la transversalitat de les polítiques de lluita contra el canvi climàtic, i aquestes podrien trobar així un tractament més adequat. Valorant aquesta remodelació, cal indicar que el seu impacte no ha afectat en essència el rang de les dependències ministerials encarregades estrictament del canvi climàtic dins del nou Ministeri: les competències de l'antiga Secretaria General per a la Prevenció de la Contaminació i el Canvi Climàtic s'enquadren ara en la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic, amb pràctica identitat d'assignació de funcions (encara que hagi desaparegut la referència a la prevenció de la contaminació en la denominació d'aquesta secretaria general). S'aprecia també que efectivament ha tingut bona acceptació una de les possibilitats que apuntàvem a les conclusions de l'informe de 2005. Concretament, ha estat creada la Comissió Delegada del Govern per al Canvi Climàtic (CDGCC), mitjançant el Reial Decret 680/2008, de 30 d'abril. Cal donar la benvinguda a aquestes opcions que, a més de demostrar un compromís estatal més seriós, possiblement hauran de facilitar l'assoliment de la multiplicitat d'objectius presents en el nostre dia a dia.

D'una altra banda, cal assenyalar també que la figura de la comissió interministerial és emprada addicionalment per tractar alguns aspectes parcials de la lluita contra el canvi climàtic. És aquest el cas de la creada per la Llei 1/2005 amb l'objectiu clar que exerceixi com a Autoritat Nacional Designada (AND) per tal d'aprovar els mecanismes previstos en el Protocol de Kyoto (projectes de desenvolupament net i d'aplicació conjunta).

La transversalitat que comença a imantar, com veiem, els aspectes organitzatius dels darrers temps en el nivell estatal, observem que també es té en compte en el tractament de certes qüestions de caire sectorial dels efectes del canvi climàtic. Malgrat que parlem encara d'institucions a les que són assignades funcions pràcticament caràcter informatiu i d'estudi, no podem

deixar de comentar l'existència de l'Observatori de la Salut i Canvi Climàtic, que va ser creat l'abril del 2009 i que, amb la participació d'experts científics i tècnics, està gestionat pels ministeris de Sanitat i Política Social i de Medi Ambient i Medi Rural i Mari.

14.4.3. Organització administrativa estatal i intervenció de les comunitats autònomes

Un cop examinada breument l'evolució de l'Administració General de l'Estat en aquesta matèria, i com s'apuntava ja en l'anterior edició d'aquest informe, cal formular una segona qüestió essencial: la necessitat de vehicular correctament les relacions interadministratives que inevitablement es produeixen en matèria de canvi climàtic, com a conseqüència del repartiment competencial i de les funcions que són exercides des de cadascun dels nivells. Aquesta qüestió presenta de nou un important interès que passem a ressenyar a continuació, la primera vessant del qual consisteix en valorar si efectivament existeixen dins de l'administració estatal mecanismes d'aquesta naturalesa que puguin garantir de manera adequada la intervenció de comunitats autònomes com la catalana.

14.4.3.1. Intervenció de les comunitats autònomes en òrgans participats

En aquest sentit, i com ja vam observar, en un primer moment la representació autonòmica va ser garantida en un òrgan col·legiat com és el CNC. Addicionalment, mitjançant la Llei 1/2005, de 9 de març, amb la creació d'un altre ens que també donaria cabuda a una certa participació autonòmica: la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic (CCPCC), òrgan de coordinació i col·laboració entre l'Administració General de l'Estat i les comunitats autònomes. Aparentment, doncs, la CCPCC i la mateixa Autoritat Nacional, configuren models organitzatius que respondrien correctament als criteris que des d'aquest estudi s'ha esmentat. Cal veure, en tot cas, quin és el seu funcionament real en la pràctica, i el pes que finalment assoleixen les posicions preconitzades i defensades per part d'una o diverses comunitats autònomes. De la lectura de la Cinquena Comunicació Nacional d'Espanya al Conveni Marc de les Nacions Unides

sobre el Canvi Climàtic¹⁴⁵, sembla desprendre's que la missió d'integració i coordinació de polítiques estatals i autonòmiques dins la CCPCC ha estat particularment fructífera. Exemple d'aquesta activitat en col·laboració és l'elaboració conjunta, en el si de la CCPCC, de l'anomenat «Programa coordinat entre l'Administració General de l'Estat i les comunitats autònomes en matèria de R+D+i sobre impactes i adaptació al canvi climàtic». També ho és el seguiment quotidià dels marcs estratègics autonòmics d'adaptació al canvi climàtic. En relació amb el Grup de Treball de Mitigació i Inventaris, integrat en la CCPCC, sembla haver tingut particular èxit el treball conjunt dut a terme amb ocasió de l'elaboració de les estratègies i plans de mitigació davant el canvi climàtic que han estat desenvolupats per part de les comunitats autònomes, així com que hagin estat posades en comú les metodologies de realització dels inventaris de gasos amb efecte d'hivernacle emprades per part d'aquestes. En relació amb les estratègies autonòmiques, s'ha realitzat una tasca amb voluntat harmonitzadora en l'àmbit de la planificació, en l'aproximació d'instruments legislatius, d'òrgans de coordinació, i d'altres iniciatives posades en marxa per part de les administracions autonòmiques. Tot plegat ha permès addicionalment compartir bones pràctiques, conèixer i difondre iniciatives que, sent aplicades en una comunitat concreta, poden ser endegades o adaptades a les peculiaritats que concorren en d'altres comunitats autònomes.

La intervenció de les comunitats autònomes en òrgans estatals amb competències sobre canvi climàtic ha avançat, doncs, de manera apreciable en els darrers anys. Aquesta tendència caldrà que en els propers temps continuï i a poder ser, que sigui intensificada, ateses les exigències de coordinació que vénen imposades per la mateixa natura de l'àmbit sobre el qual cal intervenir.

145. Cinquena Comunicació Nacional d'Espanya al Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic. Desembre 2009. Disponible a http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/divulgacion/pdf/5cn.pdf.

14.4.3.2. Altres vies

A més a més d'allò que s'acaba d'esmentar, existeixen altres instruments que poden ser emprats en aquells supòsits, que poden ser ben comuns en matèria de canvi climàtic, en què calgui prendre decisions conjuntes (Estat/comunitats autònomes), bé perquè els assumptes afecten competències compartides, bé perquè de manera conjunta es podrà actuar de mode més eficaç. En aquest sentit, les relacions de cooperació entre ambdós poders públics poden desenvolupar-se, entre d'altres, de la manera que ja vam avançar en el primer informe, mitjançant conferències sectorials, convenis de col·laboració o per via de la realització de plans i programes conjunts d'actuació, fórmules totes elles previstes a la legislació bàsica que regula el règim jurídic administratiu comú. Al llarg de vora 10 anys, aquestes vies han estat utilitzades de manera creixent, i per posar algú exemple cal recordar els plans d'acció dins el marc de la *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012*.

Convé reiterar la conveniència d'establir i mantenir instruments com els acabats d'esmentar. L'argument és simple: l'aplicació de les disposicions convencionals recollides al Conveni Marc i al Protocol de Kyoto per part de l'Estat espanyol cal que sigui duta a terme d'acord amb les previsions constitucionals. En aquest sentit, el respecte a l'exercici legítim de les seves competències per part de totes les administracions obliga a integrar les comunitats autònomes en el procés de presa de decisions sobre matèries que estan sota la seva competència i sobre les quals després elles mateixes hauran d'exercir funcions normatives o executives.

14.4.3.3. Intervenció de les comunitats autònomes en l'adopció de decisions de caràcter supraestatal

El plantejament que acaba de realitzar-se no hauria d'actuar únicament *ad intra*. Caldria, coherentment, possibilitar la participació de les comunitats autònomes també en el moment en què es forma la voluntat estatal, és a dir, en la preparació i defensa de la seva posició davant els organismes internacionals i europeus que intervenen en el repte que representa el canvi climàtic. La participació de les comunitats autònomes

ha estat pràcticament inexistent, si més no des del punt de vista formal, en el moment de prendre les més importants decisions adoptades fins a l'actualitat: signatura i ratificació de compromisos internacionals, elaboració i aprovació de la normativa amb rang de llei reguladora del règim de comerç d'emissions i de l'encara vigent Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissions. Aquesta circumstància, i atendre a les possibilitats que hi puguin ser presents, és especialment important avui, tenint en compte la futura reforma del sistema comunitari de comerç d'emissions. En aquest sentit, cal recordar que una de les seves novetats essencials consisteix en el fet que les assignacions d'emissions ja no es realitzaran a partir de 2013 en plans nacionals d'emissió, que està previst que desapareguin i, en conseqüència, es preveu que es fixaran a nivell europeu.

Cal tenir present que hi ha un punt d'inflexió en l'escenari d'intervenció autonòmica acabat d'esmentar. Hi ha un avenç de gran abast dirigit a incrementar la participació de les comunitats autònomes (o governs regionals) en l'àmbit comunitari europeu i que, pel que fa a l'Estat espanyol, ha portat a l'adopció d'un acord a finals de 2004 amb el Govern espanyol sobre un sistema que hauria de garantir la representació autonòmica en el Consell Europeu, en les seves sessions plenàries i grups de treball.

14.4.4. Compromisos contrets i actuacions pendents

Havent esmentat en epígrafs anteriors els compromisos contrets per part de l'Estat espanyol, cal a continuació que recordem algunes actuacions que cal posar en marxa o completar properament així com donar compte d'alguns avenços especialment destacables. Cal destacar que des de l'aparició de l'anterior edició d'aquest informe es disposa ja d'un instrument marc, d'una estratègia espanyola sobre canvi climàtic (l'EECCCEL), eina que hauria d'emmarcar les accions de diversa índole que cal emprendre sobre aquesta matèria. Com a aspecte positiu cal apuntar que aquesta estratègia i, sobretot, els instruments que la desenvolupen, semblen haver tingut en compte la marcada transversalitat sectorial del fenomen (deixant de banda el marcat protagonisme que es concedeix en el document

al sector energètic). Aquesta idea de la transversalitat, tan poc comuna en el nostre dret i tan necessària en aquest àmbit, s'aprecia sobretot a partir del pla de mesures urgents, i de les seves línies complementàries, que com hem dit han estat aprovades l'any 2008.

En qualsevol cas, i malgrat els avenços des del punt de vista de la planificació que han estat ressenyats en els epígrafs corresponents, queden encara reptes pendents. Òbviament tenen com a primer punt el necessari compliment dels objectius de reducció d'emissions assumits per l'estat espanyol. Com s'ha vist —quan hem examinat l'evolució de l'activitat estatal—, l'assoliment dels objectius que van ser fixats en el primer pla nacional d'assignació de l'any 2004, ja es preveia que eren difícils d'assolir en referència a l'any 2006. Per aquesta mateixa dificultat, van ser revisats a l'alça l'any 2006 (passant d'un augment del 24 al 37), i es va decidir compensar els augments amb l'ús de mecanismes de flexibilitat. Aquest és l'escenari actual de compliment d'objectius, i el seu assoliment continua sent el major repte.

D'altra banda, constitueix una tasca encara pendent la incorporació completa del paquet comunitari de directives que reformen el règim de comerç de gasos amb efecte d'hivernacle i sobre emmagatzematge geològic de carboni. En aquest punt, que incideix de manera molt important en la incorporació de nous sectors, cal destacar que, a més de la incorporació parcial dels aspectes relatius a l'aviació, s'ha presentat ja un projecte de llei relatiu al sistema de comerç de gasos amb efecte d'hivernacle, juntament amb un altre projecte posterior d'emmagatzematge geològic de carboni. Com és del tot lògic, el compliment d'aquests compromisos per part de l'Estat espanyol no pot prescindir, i cal que en vingui acompanyat, de l'actuació de les comunitats autònomes. Baixant a alguns exemples dels reptes concrets, i deixant de costat l'esquema, òbviament més desenvolupat, dins l'àrea del comerç de drets d'emissió, cal referir-se al mecanisme de l'emmagatzematge geològic del carboni, on el projecte de llei actualment en tramitació deixa un ampli lloc per a l'actuació autonòmica tant des del punt de vista executiu com el normatiu i de planificació. Hi resten espais importants on l'actuació catalana pot ser especialment rellevant

pel que fa a la molt recent normativa aplicable als gasos fluorats.

14.4.5. El marc competencial de Catalunya

Un cop exposat el ventall de preceptes que, d'acord amb l'Estatut d'Autonomia de Catalunya aprovat el 2006, atorguen competències a la Generalitat, la primera conclusió que cal extreure és que el nou text, en relació amb allò que era objecte de tractament a l'anterior Estatut clarifica i detalla el context competencial que regeix a Catalunya sobre aquesta matèria. També confirma aquella idea que ja preconitzàvem llavors, és a dir, que les competències de què disposa la Generalitat són suficients per emparar una política pròpia sobre aquesta matèria, respectant determinats límits (que es deriven del dret internacional, comunitari europeu i també estatal). Es confirma que estem en un àmbit que requereix plantejaments estratègics però també solucions enèrgiques en un entorn que es caracteritza per un increment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle que, com hem pogut comprovar aquests anys, pot arribar a comprometre l'assoliment dels compromisos internacionals i comunitaris que són exigibles. El marc jurídic és actualment més precís que aquell de què es disposava l'any 2005, i això indubtablement complementa de forma favorable qualsevol presa de decisió. La conclusió, nogensmenys, és la mateixa: l'Estatut aixopluga sense problemes una política pròpia sobre canvi climàtic, una política que pugui adequar les diverses decisions a adoptar a les característiques internes catalanes dels diversos sectors implicats. És possible doncs, i del tot recomanable, com ja es deia en el primer Informe, l'adopció d'una estratègia catalana sobre canvi climàtic i també l'adopció de totes les mesures que escaiguin per a la seva implementació.

14.4.6. Organització administrativa

Entre els avenços produïts des del primer Informe destaca en primer lloc l'establiment i el desenvolupament d'una estructura administrativa especialitzada dins de la Generalitat. L'organització administrativa catalana en matèria de canvi climàtic gira avui al voltant de dos òrgans essencials: la Comissió Interdepartamental del Canvi climàtic i

l'Oficina Catalana de Canvi climàtic, amb funcions complementàries d'integració de les polítiques de canvi climàtic al més alt nivell departamental, per una part, i d'impuls i gestió més quotidiana de l'Oficina, per una altra. L'estructura administrativa sembla respondre a la idea de transversalitat sectorial a què reiteradament hem fet referència i que preconitzàvem en l'informe primer.

És prematur valorar a fons el funcionament i els resultats d'una nova estructura administrativa que té únicament tres anys de vida. Tot sembla confirmar que s'han produït avenços improbables sota el règim organitzatiu anterior i que a més de concentrar funcions, prèviament disperses, ha servit per visualitzar més adequadament la intervenció de la Generalitat sobre aquesta matèria. En poc temps des de la seva creació, concretament mitjançant acord de Govern de 30 de setembre de 2008, ja comença a donar fruits, en tant que s'ha pogut aprovar el Pla català de mitigació del canvi climàtic 2008-2012 per al compliment del Protocol de Kyoto, i un instrument d'avaluació i seguiment d'aquest. Resta per determinar si aquesta transversalitat i manera de treballar que en principi és del tot recomanable acaba imitant, es a dir, acaba anant més enllà de la superfície i incideix directament en les polítiques i en l'execució diària de les funcions que han de ser realitzades per cadascun dels departaments que conformen aquesta Comissió. Cal veure amb bons ulls, per tant, una de les propostes que apareixen dins el Document de desplegament del Pla de mitigació (març de 2010), concretament la que estableix que cal crear una comissió tècnica per fer el seguiment del Pla marc de mitigació. En aquesta Comissió, segons es dedueix de la proposta, hi serien integrats els tècnics dels diferents departaments del Govern implicats en el Pla marc. Possibilitaria també tenir actualitzat el progrés de les actuacions, compartir informació, detectar barreres per a la implantació de mesures, etc.

14.4.7. Actuacions de natura normativa

Els darrers anys s'han dut a terme importants avenços en el camp normatiu, especialment en relació amb el comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle així com en aspectes transversals en matèria de mobilitat i contami-

nació lumínica. En qualsevol cas, cal fer una menció especial a la necessitat d'incrementar l'actuació normativa de Catalunya en un futur molt pròxim. També haurà de resoldre els conflictes que es generin per concurrència de drets que afectin aquests; haurà d'informar les sol·licituds de concessió d'emmagatzematge, i l'aprovació de plans de seguiment i el pla provisional de gestió posterior al tancament. Finalment, i pel que fa als gasos fluorats, el Reial decret pel qual es regula la comercialització i manipulació de gasos fluorats i equips basats en els mateixos, així com la certificació dels professionals que els utilitzen, preveuen així mateix competències autonòmiques en relació amb la designació d'òrgans competents per atorgar les certificacions, al procediment, i al registre dels certificats expedits. La Generalitat hauria d'avançar en la reflexió i adopció de decisions sobre aquests aspectes el més aviat possible.

14.4.8. L'actuació planificadora. Consideracions sobre el Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya

El Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 constitueix el document essencial de l'acció catalana enfront del canvi climàtic. Com ha pogut comprovar-se, el pla adopta un enfocament extraordinàriament ampli i comprèn una important quantitat de línies estratègiques per a les quals es preveu el desenvolupament d'una gran quantitat d'accions. Ara bé, atenent estrictament a la seva natura jurídica, cal fer notar que no es tracta, com podria semblar *prima facie*, d'un pla territorial sectorial en el sentit estricte del terme, així com que, en relació amb els seus continguts, les mesures i accions que es tenen en compte van ser formulades en termes especialment genèrics. Aquestes condicions condueixen a interrogar-se sobre si es tracta d'un pla en sentit jurídic normatiu, o si pròpiament estariem davant un fenomen divers com és l'expressió documental d'una política. Si s'arriba a aquesta última conclusió, estariem davant l'expressió d'uns objectius i l'exposició de les línies generals, directrius i propostes que s'espera que puguin contribuir a assolir-los, i no davant una autèntica norma capaç de vincular i determinar jurídicament (d'una manera

obligatòria en dret) les actuacions posteriors programàtiques, planificadores o de projectes. De l'examen del PMMCCC sembla que es desprèn que es tracta d'un document d'aquest tipus. Aquestes consideracions afecten els mecanismes per assegurar l'exigibilitat jurídica dels continguts del pla, i en aquest sentit, sembla que difícilment podrien anul·lar-se plans o programes sectorials, aprovats d'acord amb la normativa catalana d'ordenació territorial i urbanística, per incompliment de les línies generals que s'estableixen en aquest pla de mitigació.

Disposem, per tant, d'un instrument que estableix objectius estratègics clars (els tres que han estat exposats) i que ha estat objecte de desenvolupament posterior. En aquest cas, fora de la complexa (i especialment participada) elaboració que va dur a l'aprovació del Pla de Mitigació, ha vist la llum el document *Desplegament del Pla 2008-2009* (març de 2010), a partir d'una avaluació duta a terme per part de l'OCCC que valora el progrés de les mesures i accions que han estat implementades des de 2008 per part dels diferents departaments del Govern i posa deures específics per als propers anys. D'aquesta manera poden ser detectats els aspectes sobre els quals cal incidir especialment i també aquells que cal modificar o reincorporar. Es vol destacar també que constitueix una eina útil per donar a conèixer a la ciutadania el progrés que està sent dut a terme a Catalunya i aporta informació concreta del compromís de la Generalitat sobre la matèria (el 85% de les accions que havien estat compromeses dins el Pla Marc ja s'han iniciat entre 2008 i 2009); s'estan executant 35 accions de les 41 que s'hi preveïen inicialment; s'executa un total de 186 actuacions en matèria de lluita contra el canvi climàtic, i es detalla que un 41% d'elles tenen un progrés avançat o molt avançat. Es tracta, doncs, d'un text de gran rellevància i vocació de realisme, en tant que fins i tot pretén adaptar el seu contingut a les mesures anticrisi analitzant l'impacte potencial que poden tenir sobre l'evolució dels gasos amb efecte d'hivernacle i cercant, amb la previsió necessària, si el context actual pot empènyer o ajudar a l'adopció de mesures impulsores d'una transició a una economia baixa en carboni.

Així, doncs, amb independència del rang jurídic amb què estiguin sent aprovats aquests instruments, allò que realment esdevé transcendent és que, a diferència del que apuntàvem a l'informe anterior, Catalunya disposa avui d'un Pla amb objectius estratègics, d'un Pla que està sent objecte de seguiment i avaluació, amb un contingut que es pot modificar o redreçar, si escau, i que, per últim, periòdicament es dóna compte a la ciutadania de com s'estan complint els objectius que s'autoimposa. La seva capacitat per vincular és, com hem dit, i en últim terme, bàsicament política i no jurídica. Depèn d'aquest tipus de voluntats garantir el seu compliment o incompliment, però el camí encetat en aquest sentit és molt més brillant que el que emmarcava l'informe anterior.

14.4.9. Alguns reptes pendents

14.4.9.1. Reptes estatals pendents i la seva afectació a Catalunya

Havíem assenyalat que quedava per determinar si la idea de transversalitat a què sembla respondre l'estructura administrativa catalana en aquest camp ha impregnat la tasca efectiva dels diferents departaments del Govern de la Generalitat. Es tracta d'una tasca que ha de valorar la integració de les grans línies o eixos estratègics de la política catalana de lluita contra el canvi climàtic, no només en la tasca normativa legal i reglamentària, sinó molt particularment en el conjunt de plans sectorials que s'elaboren i aproven d'acord amb el criteri lògic de la competència dels diferents departaments de la Generalitat. Des d'aquesta perspectiva, és un fet que des de l'any 2003 s'ha aprovat una bona quantitat de plans sectorials (com els de desenvolupament de la Llei de mobilitat, el Pla forestal de Catalunya, la planificació sectorial d'infraestructures com ports o aeroports) que d'alguna manera han integrat consideracions relatives al canvi climàtic en els seus textos. Aquests instruments, autèntics plans territorials sectorials que es desenvolupen a través de projectes concrets, han de servir de pedra de toc per comprovar la penetració de les consideracions del canvi climàtic en la manera de fer del conjunt de l'Administració catalana en aquest àmbit. S'han produït avenços, però també queda espai per a la millora, com ho demostra el fet que

els plans de ports o aeroports de Catalunya dediquin un espai no gaire significatiu als aspectes de mitigació o adaptació al canvi climàtic. Pel que fa al cas cal·l addicional que la tasca d'un òrgan com el CADS, en l'exercici de la seva tasca consultiva que s'estén a projectes normatius i de planificació, pot resultar interessant.

14.4.9.2. Els reptes per a Catalunya

Catalunya ha de posar en marxa algunes iniciatives normatives en els propers temps. També haurà de resoldre els conflictes que es generin per concurrència de drets; haurà d'informar les sol·licituds de concessió d'emmagatzematge, i l'aprovació de plans de seguiment i el pla provisional de gestió posterior al tancament. Finalment, i pel que fa als gasos fluorats, el projecte de Reial decret pel qual es regula la comercialització i manipulació de gasos fluorats i d'equips basats en aquests, així com la certificació dels professionals que els utilitzen, preveu així mateix competències autonòmiques en relació amb la designació d'òrgans competents per atorgar les certificacions, el procediment, i el registre dels certificats expedits. La Generalitat ha d'avançar en la reflexió i adopció de decisions sobre aquests aspectes el més aviat possible.

Entre els reptes pendents s'hi troben, per últim, tots aquells que ja ha individualitzat molt adequadament la pròpia Generalitat en el seu informe *Desplegament del Pla 2008-2009*. En destaquem la necessitat que es desenvolupi la normativa relacionada amb l'eficiència energètica dels edificis i la certificació d'aquests; que es desenvolupin programes d'actuació específics per determinar projectes, responsables de l'execució —dins el Govern— i els corresponents pressupostos associats; disposar d'una estratègia sobre la contribució dels boscos catalans a la reducció de les emissions i realitzar actuacions de suport a la recerca sobre causes i efectes de canvi climàtic. El seu aprofundiment servirà per posar les bases d'una eina també necessària com és que es tingui a punt un pla d'adaptació. Per últim, també es considera d'especial interès que es procedeixi a desenvolupar criteris i metodologies tècniques que puguin ser adequades per a la quantificació de les reduccions d'emissions per actuació (tant de les mesures executades com de les previstes).

Referències

- ABBAS, M. (2007). «Politiques de l'Union. La proposition d'une taxe CO₂ aux frontières. Vers une stratégie européenne en matière de régulation commerciale et de lutte contre le changement climatique?». *Revue du marche commun et de l'Union Européenne*, 513, p. 628-637.
- ÁLVAREZ FERNÁNDEZ, M. (2006). «La emisión de gases de efecto invernadero y su régimen de intercambio». *Revista de administración pública*, 170, p. 227-260.
- AGUDO GONZÁLEZ, J. (2004). *El control de contaminación: técnicas jurídicas de protección medioambiental* (T.II). Madrid: Montecorvo.
- BARET, S. (2003). *Environment & Statecraft. The Strategy of Environmental Treaty-Making*. Oxford/New York: Oxford University Press, 2003.
- BIRNIE, P.W.; BOYLE, A.E. (2002). *International Law and Environment*. Oxford: Oxford University Press.
- BODANSKY, D. (1993). «The United Nations Framework Convention on Climate Change: A Commentary». *The Yale Journal of International Law*, vol 18, núm. 2, p. 451-558.
- BOISSON DE CHAZOURNES, L. (1995). «La mise en oeuvre du droit international dans le domaine de la protection de l'environnement: Enjeux et défis». *Revue Générale de Droit International Public*, núm. 1, p. 37-76.
- BORRÀS PENTINAT, S. (2009). «La lucha contra el cambio climático: entre los derechos de emisión y la justicia climática». *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 16, p. 113-142.
- BOUCQUEY, N. (1998). *Aspects juridiques des marchés de pollution: conception, régulation et responsabilité*. Louvain-La-Neuve/Bruxelles: Centre de Droit de la Consommation/Bruylant.
- BRICEÑO CHUECA, A. (1995). «Las actividades de aplicación conjunta en la Convención Marco del Cambio Climático». *Revista Española de Derecho Internacional*, p. 101-110.
- CAMPINS ERITJA, M. [coord.] (2005). *Los retos de la aplicación del Protocolo de Kyoto en España y Canadá*. Barcelona: Atelier.
- (1999). «La acción internacional para reducir los efectos del cambio climático: El Convenio Marco y el Protocolo de Kioto». *Anuario de Derecho Internacional*, p. 71-113.
- CANALS AMETLLER, D. (2006). «Las administraciones locales ante el cumplimiento del Protocolo de Kioto. El mercado de derechos de emisión de gases de efecto invernadero y otros instrumentos». A: ESTEVE

- PARDO, José [coord.] *Derecho del Medio Ambiente y Administración Local*. Barcelona: Fundació Democràcia i Govern Local, p. 561-592. (2a ed., 1a a la Fundació).
- CARBALLEIRA RIVEIRA, M.T. (1997). «El cambio climático. Análisis científico y jurídico de las emisiones de gases de efecto invernadero». *Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente*, 156, (setembre-octubre 1997).
- CASADO CASADO, L. (2009). «La prevención, ordenación y control de la contaminación lumínica como instrumento de intervención en la lucha contra el cambio climático. Análisis de una experiencia pionera en España». *Revista de Direito Ambiental*, 56.
- CHAMBERS, W.B. [ed.] (2001). «Global Climate Governance. Interlinkages between the Kyoto Protocol and other Multilateral Regimes, U.N.U./I.A.S.A. A: CHUECA SANCHO, A. *Cambio climático y derecho internacional*. Zaragoza: Fundación Ecología y Desarrollo.
- CHUECA SANCHO, A. (2001). *Cambio climático y derecho internacional*, Gobierno de Aragón.
- CHURCHILL, R.; FREESTONE, D. [eds.] (1991). *International Law and Global Climate Change*. London/Dordrecht/Boston: Graham & Trotman/Martinus Nijhoff.
- CORRALES RODRIGÁNEZ, M. (2002). «Cambio climático: el Protocolo sobrevive». *Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental*, 39, (març de 2002).
- ESTEVE PARDO, J. (2008). *Derecho del medio ambiente*. Madrid: Marcial Pons (2a ed.).
- FAJARDO DEL CASTILLO, T. (2005). *La política exterior de la Unión Europea en materia de medio ambiente*. Madrid: Tecnos.
- FORTES MARTÍN, A. (2007). «La «presión» ambiental de los sistemas de producción y consumo de energía. La potencial acción conciliatoria de la fiscalidad energética y ambiental y del comercio de emisiones de dióxido de carbono». *Noticias de la Unión Europea*, 268, p. 43-65.
- (2006). «La organización y el funcionamiento del Registro Nacional de Derechos de Emisión (RENADE)». *Ecosostenible*, p. 19-27.
- (2004). «Reflexiones a propósito del futuro Régimen Europeo de Intercambio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero». *Revista Aranzadi de derecho ambiental*, 5, p. 89-113.
- GARCÍA ÁLVAREZ, G. (2009). «Jurisprudencia del Tribunal Supremo. La anulación de asignaciones individuales de derechos de emisión de gases de efecto invernadero y otras cuestiones ambientales». A: LÓPEZ RAMÓN, F. [coord.]. *Observatorio de Políticas Ambientales 2009*. Thomson-Aranzadi.
- GARCÍA LUPIOLA, A. (2009). «La política medioambiental de la unión europea ante el cambio climático», *Revista Electrónica de Derecho Ambiental*, núm. 18, gener de 2009.
- GREENE, O. (1996). *Knowledge and Implementation of Environmental Agreements: Lessons from Ozone, Regional Seas and Climate Change Conventions*. I.E.C. Project, I.I.A.S.A., Bradford University, September.
- GUPTA, J. (1997). *The Climate Change Convention and Developing Countries: From Conflict to Consensus?* Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.
- JANS, J.; VEDDER, H. (2008). *European Environmental Law*. Groningen: Europa Law Publishing.
- JUNCEDA MORENO, J. (2005). *Comentarios a la Ley 1/2005, de 9 de marzo, de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero y a la normativa complementaria de aplicación del protocolo de Kioto*. Cizur Menor: Civitas.
- JUSTE RUIZ, J. (1999). *Derecho Internacional del medio ambiente*. Madrid: Mc Graw Hill.
- KISS, A.; BEURIER, J.P. (2000). *Droit international de l'environnement*. Paris: Pedone.
- KRÄMER, L. (1999). *EC Environmental Law*. Londres: Sweet & Maxwell.
- LANG, W.; SCHALLY, H. (1993). «La Convention cadre sur les changements climatiques. Un élément du bilan normatif du Sommet de la Terre: La CNUED». *Revue Générale de Droit International Public*, núm. 2, p. 321-335.
- LANG, W.; NEHUOD, H.; ZEMANEK, K. [eds.] (1993). *Environmental Protection and International Law*. London/Dordrecht/Boston: Graham & Trotman/Martinus Nijhoff.
- LARA, E.L. (2010) «Cambio climático: frenazo en Copenhague; próxima estación: México 2010 (COP 16)». *Análisis del Real Instituto Elcano (ARI)*, 9.
- LÁZARO CALVO, T. (2005). *Derecho internacional del medio ambiente*. Madrid: Atelier Internacional.
- LLEBOT, J.E. [ed.] (2005). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i CADS.
- LÓPEZ RAMÓN, F. (2006). «Régimen jurídico de protección de la atmósfera». A: ESTEVE PARDO, J. [coord.]

- (2006). *Derecho del medio ambiente y administración local*, p. 655-676.
- LOZANO CUTANDA, B. (2009). *Derecho ambiental administrativo*. Madrid: (10a ed.).
- MALJEAN-DUBOIS, S. [dir.] (2002). *L'outil économique en droit international et européen de l'environnement*. París: C.E.R.I.C./La Documentation Française.
- MANZANARES, E.; LLUCH, E. (2009). «Internacionalización y cambio climático: políticas convergentes». *Boletín económico de ICE*, 2978, p. 23-38.
- MARTÍN ARRIBAS, J.J. (2005). *La Unión Europea ante el fenómeno del cambio climático*. Burgos: Universidad de Burgos.
- El mercado de derechos a contaminar. Régimen jurídico-público del mercado comunitario de derechos de emisión en España*. (2007). Valladolid: Lex Nova.
- O.E.C.D. (1992). *Climate Change. Designing a Tradeable Permit System*. París: O.E.C.D.
- OLABE, A.; GONZÁLEZ-EGUINO, M. (2009). «Copenhague: una cita con la historia», *Política exterior*, vol. 23, núm. 132, p. 97-106.
- OSOFSKY, H. (2005). «The Geography of Climate Change Litigation: Implications for Transnational Regulatory Governance», 83 WASH. U.L.Q. 1789. <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=796204>
- (2007) «Climate Change Litigation as Pluralist Legal Dialogue?». 26 STANFORD ENVTL. L.J. & 43 STANFORD J. INT'L L. 181. <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=976557>
- OTT, H. (1996). «Elements of a Supervisory Procedure for the Climate Regime». *Zeitschrift für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht (ZaöRV)*, vol. 56, núm. 3, p. 733-749
- PERNAS GARCÍA, J. (2002). «Nacimiento, desarrollo y estado actual de la estrategia comunitaria frente al Cambio climático». *Revista Aranzadi de Derecho Ambiental*, 2, p. 217 a 235.
- PLAZA MARTÍN, C. (2006). *Derecho Ambiental de la Unión Europea*. València: Tirant Lo Blanch.
- PONT CASTEJÓN, Isabel; CAMPINS, Mar. (2005). «Aspectes legals en la lluita contra el canvi climàtic». A: LLEBOT, J.E. [ed.] *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, p. 722.
- PONT CASTEJÓN, Isabel; NIETO MORENO, José Emilio (2010). «La actuación ambiental del Estado». A: LÓPEZ RAMÓN, F. [coord.] *Observatorio de Políticas Ambientales*. Thomson-Aranzadi. (en premsa).
- RAMAKRISHNA, K.; DEUTZ, A.M. (comp. i ed.). *The Ad Hoc Process to Strengthen the Framework Convention on Climate Change*. Wood Hole. Massachusetts, October 1995 (dact.).
- RODRIGO HERNÁNDEZ, A. (2001). «Nuevas técnicas jurídicas para la aplicación de los tratados internacionales de medio ambiente». Cursos de Derecho Internacional y Relaciones Internacionales de Vitoria-Gasteiz 2001. Madrid: Tecnos/UPV, p. 155-243.
- DE ROJAS MARTÍNEZ-PARETS, F. (2000) «Consideración sobre los mecanismos de absorción y depósito en las convenciones y protocolos sobre cambio climático». *Revista Mensual de Gestión Ambiental*, año 2, núm.22, octubre de 2000.
- SANDS, Ph. (1995) *Principles of International Environmental Law*. Manchester/New York: Manchester University Press.
- SANZ RUBIALES, I. «Una aproximación al nuevo mercado de derechos de emisión de gases de efecto invernadero». *Revista Española de Derecho Administrativo*, 125, p. 31-64.
- SAURA, J. (2003). *El cumplimiento del Protocolo de Kioto sobre el cambio climático*. Barcelona: Col. Tribunal Internacional, núm. 5.
- SARASÍBAR IRIARTE M. (2007). *Régimen jurídico del cambio climático*. Valladolid: Lex Nova.
- (2007) «El procedimiento de asignación de los derechos de emisión de gases de efecto invernadero». A: ALENZA GARCÍA, J.; RAZQUIN LIZÁRRAGA, J.A. (coord). *Libro homenaje al profesor Francisco González Navarro*.
- (2009). «El procedimiento de participación en proyectos para reducir los efectos del cambio climático». *Revista de la Facultad de Derecho de la Universidad de Granada*, 12, p. 125-147.
- SCHELLING, Th.C. (1997). «The Cost of Combating Global Warming». *Foreign Affairs*, November/December, p. 8-14.
- SECRETARIA DEL CONVENI MARC SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC (2002). *A Guide to the Climate Change Convention and its Kioto Protocol*. Bonn.
- STEWART, R. [ed.] (2000). *The Clean Development Mechanism. Building International Public-Private Partnerships Under the Kioto Protocol*. Ginebra: UNCTAD.
- TABARA, J.D. (2003). «Spain: words that succeed and climate policies that fail». *Climate Policy*, 3, p. 19-30.

- U.N.D.P. (1998). *Issues and Options. The Clean Development Mechanism*. Nova York: U.N.D.P.
- WERKSMAN, J. (1996). «Designing a Compliance System for the UN Framework Convention on Climate Change». A: FIELD, *Improving Compliance with International Environmental Law*. London, p. 85-112.
- YABAR STERLING, Ana (1995). «Cambio climático, Políticas Internacionales del Clima y Plan Nacional sobre el Clima en España». *NUE* 122.
- (2000). «La aplicación de los mecanismos derivados del Protocolo de Kioto para mitigar los efectos del cambio climático. Balance de situación en el mundo, en la Unión Europea y en España». *Noticias de la Unión Europea*, CISS Praxis p. 125.

15. Eines de gestió del canvi climàtic

Esteve Corbera¹ i Ismael Romeo²

¹ Escola Internacional de Desenvolupament, Universitat d'East Anglia i Tyndall Centre for Climate Change Research, Regne Unit

² Director general de SENDECO2

Esteve Corbera (Barcelona, 1976) és doctor en Estudis per al Desenvolupament per la Universitat d'East Anglia (Regne Unit) i llicenciat en Ciències Ambientals per la Universitat Autònoma de Barcelona. Actualment, és investigador sènior al Tyndall Centre for Climate Change Research i a la Universitat d'East Anglia, així com professor associat al Màster de Política Ambiental a la Universitat de Cambridge. La seva recerca s'ha centrat en l'estudi dels mercats d'emissions i dels projectes d'energies renovables i forestals per a la mitigació del canvi climàtic a països com Mèxic, Belize, Kènia, Sud-Àfrica i Tanzània. Els seus treballs han estat publicats a revistes científiques de renom internacional, llibres acadèmics i diversos mitjans de divulgació. Recentment ha estat nomenat autor principal del capítol 'Desenvolupament Sostenible i Equitat' per al Cinquè Informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic.

Ismael Romeo (Barcelona, 1974), economista i MBA per la Universitat Politècnica de Catalunya, és Director de SENDECO2, la Borsa Mediterrània de CO₂, des de l'abril del 2007 quan, després de realitzar tasques com a director comercial, se li va confiar el desenvolupament i consolidació de la primera borsa d'emissions de diòxid de carboni al sud d'Europa. En l'àmbit acadèmic, ha estat ponent a diferents classes magistrals, cursos i màsters a diverses universitats i escoles de negocis. Addicionalment, cal destacar la seva intervenció a la Comissió Mixta Congrés - Senat pel Canvi Climàtic, on va ser requerit per explicar la situació dels mercats d'emissions, tant l'espanyol com l'internacional.

Volem agrair els comentaris del consell editorial i d'un revisor anònim a una versió inicial del text, així com la informació tramesa per Xavier Cazorla (Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible), Iñaki Gili (Oficina Catalana de Canvi Climàtic) i per la Direcció General de Tributs de la Generalitat de Catalunya, així com de Pere Ysern (Universitat Autònoma de Barcelona), Òscar Marcos (Universitat de Barcelona), Antonio de la Torre (Universitat Rovira i Virgili) i Ignasi Puig Ventosa (Ent Consulting).

Resum	625
15.1. Introducció	627
15.2. Estratègies de mitigació fonamentades en el comerç d'emissions	628
15.2.1. Comerç d'emissions	628
15.2.1.1. Comerç d'emissions a la Unió Europea	628
15.2.1.2. La participació de l'Estat espanyol i de Catalunya en el comerç d'emissions	635
15.2.2. Mecanismes de reducció d'emissions mitjançant projectes	638
15.2.2.1. L'aplicació conjunta	638
15.2.2.2. El Mecanisme de Desenvolupament Net	638
15.2.2.3. Projectes voluntaris de reducció d'emissions	643
15.2.2.4. La «neutralitat en emissions»	646
15.3. Instruments de mitigació del canvi climàtic no vinculats al comerç d'emissions	648
15.3.1. Instruments de planificació	648
15.3.1.1. Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012	648
15.3.1.2. Pla de l'energia 2006-2015	651
15.3.1.3. Programa d'estalvi i eficiència energètica als edificis i equipaments de la Generalitat de Catalunya	654
15.3.1.4. Plans locals d'acció d'energia sostenible	654
15.3.1.5. Plans de reducció d'emissions a les universitats catalanes	655
15.3.2. Instruments econòmics	656
15.3.2.1. Impostos sobre l'energia i les emissions	656
15.3.2.2. Ajuts i subvencions	657
15.3.2.3. La certificació energètica	658
15.4. L'adaptació al canvi climàtic	659
15.4.1. Adaptació, vulnerabilitat i resiliència	659
15.4.2. Context internacional d'adaptació	662
15.4.3. L'adaptació a la UE	664
15.4.4. L'adaptació a l'Estat espanyol i a Catalunya	666
15.5. Conclusions	668
Referències	670

Resum

Aquest capítol revisa els principals instruments de gestió per a la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic a Catalunya. Després d'una breu introducció, es descriuen els principis i el funcionament del comerç d'emissions a la UE i els mecanismes de reducció d'emissions mitjançant projectes, incloent-hi els voluntaris. S'analitza la participació de les empreses catalanes afectades per la Directiva 2003/87/CE, així com dels sectors difusos en aquests àmbits. La tercera secció descriu un seguit d'instruments que tenen com a objectiu reduir les emissions directament o indirectament, com ara impostos, subvencions i certificacions energètiques, i se n'avalua el grau de desenvolupament a Catalunya. Per últim, la quarta secció presenta els instruments relacionats amb l'adaptació i les primeres passes de Catalunya en aquesta direcció.

En termes generals, es mostra que les emissions de les empreses catalanes que participen al mercat d'emissions han disminuït progressivament, excepte dels sectors de producció d'ener-

gia, mentre que la participació activa en la compravenda de drets d'emissió ha estat limitat fins ara a grans empreses del sector energètic. L'adopció voluntària de mesures de reducció d'emissions pels sectors difusos també resulta escassa en comparació amb altres països europeus, si bé el Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 ha començat a estimular accions de reducció en aquests sectors i a promoure la seva participació en els mercats d'emissions, per la qual cosa s'esperen avenços significatius durant els propers anys. Pel que fa a l'adaptació, els esforços de Catalunya són coherents amb els instruments vigents i les accions preses per la UE i l'Estat espanyol, i s'han impulsat un seguit d'estudis per avaluar escenaris i riscos climàtics, així com vulnerabilitats i impactes en diferents sectors. Malgrat això, la gestió dels riscos climàtics i l'adopció de mesures d'adaptació encara no han estat impulsades formalment i de moment són estratègies poc reconegudes pel sector empresarial i la societat civil de Catalunya.

15.1. Introducció

El Protocol de Kyoto (en endavant, PK), signat l'any 1997 i ratificat al febrer de 2005 en el marc de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC), és el primer instrument de dret ambiental internacional que limita les emissions per a un conjunt de països industrialitzats descrits a l'annex B del mateix Protocol. El PK promou una reducció mitjana del 5% de les emissions totals de sis gasos d'efecte hivernacle respecte de les emissions de l'any 1990, que cal assolir durant el període 2008-2012. Fins ara, aquests objectius han estat insuficients per aturar les emissions globals de diòxid de carboni (CO_2), que han seguit augmentant a un ritme superior al 3% anual des de l'any 2000 (Raupach *et al.*, 2000; Global Carbon Project, 2008). Aquest increment s'ha d'atribuir al creixement econòmic global de l'última dècada, particularment a la Xina, l'Índia i el Brasil. Des de l'any 2007, la Xina supera en volum total d'emissions anuals els Estats Units, si bé un quart d'aquestes estan associades a la producció de béns per a l'exportació (Wang i Watson, 2007).

Per evitar un increment de la temperatura mitjana global superior a dos graus centígrads, caldria estabilitzar la concentració de CO_2 entre les 350 i les 400 parts per milió (ppm), que equival aproximadament a una concentració entre 445 i 490 ppm de CO_2 equivalent (CO_2e) si tenim en compte tots els altres gasos d'efecte hivernacle (GEH) (IPCC, 2007). Actualment, el CO_2 ja es troba en una concentració global mitjana de 384 ppm, amb un creixement anual de l'ordre de 2 ppm (Global Carbon Project, 2008). En termes d'objectius de reducció, estabilitzar les emissions implicaria retallar les emissions de GEH dels països de l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic (OCDE) almenys un 40% respecte dels nivells de 1990 l'any 2020, incloent-hi les emissions del transport aeri i marítim, i una retallada global entre el 50% i el 85% respecte dels nivells de l'any 1990 l'any 2050 (IPCC, 2007; Metz, 2008; Rahmstorf, 2009).

Aquesta transició energètica i social s'hauria de complementar amb mesures d'adaptació al

canvi climàtic, ja que un escenari més probable és que l'estabilització s'assoleixi en algun moment entre 400 i 490 ppm de CO_2 , és a dir per sobre de les 490 ppm de CO_2e (IPCC, 2007). Si bé un cert nivell d'alteració climàtica ja és irreversible i, per tant, adaptar-se al canvi climàtic és ja des d'avui mateix un procés indefugible, sembla evident que aquestes concentracions tan elevades de GEH resultarien, amb un cert marge d'incertesa, en uns impactes climàtics considerables, sobretot als països i ciutadans més vulnerables (Parry *et al.*, 2007; Anderson *et al.*, 2008).

Aquest capítol s'estructura en quatre seccions, incloent-hi aquesta introducció, i un apartat de conclusions. La segona secció analitza un conjunt d'instruments que, promoguts des de la CMNUCC i el PK, tenen l'objectiu de reduir les emissions de GEH mitjançant el comerç d'emissions. En el context de la Unió Europea (UE), aquests instruments inclouen el mercat europeu de comerç d'emissions, l'aplicació conjunta, el mecanisme de desenvolupament net, i els projectes voluntaris de reducció d'emissions. La secció n'analitza els principis rectors i llur evolució durant els darrers quatre anys (2005-2009), i fent èmfasi en la participació d'institucions i empreses de l'Estat espanyol i de Catalunya. La tercera secció presenta, en primer lloc, un conjunt d'instruments posats en marxa des del Govern de la Generalitat de Catalunya, les administracions locals o les universitats, que tenen com a objectiu reduir les emissions. Entre d'altres, s'analitzen el Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 (Generalitat de Catalunya, 2008) i el Pla de l'energia 2006-2012 (Generalitat de Catalunya, 2006) com a instruments de planificació de referència, juntament amb iniciatives de planificació d'àmbit local com els plans locals d'acció d'energia sostenible. En segon lloc, s'analitzen tres tipus d'instruments econòmics que també tenen com a objectiu la mitigació del canvi climàtic, com són els impostos, els ajuts i subvencions, i la certificació energètica. La quarta secció, abans de les conclusions, descriu els principals conceptes relacionats amb l'adaptació al canvi climàtic, el context internacional, les fonts de finançament i la posició de la UE en aquest

àmbit d'actuació. També s'analitzen les iniciatives d'adaptació engegades a l'Estat espanyol i a Catalunya, i el seu grau de desenvolupament.

15.2. Estratègies de mitigació fonamentades en el comerç d'emissions

15.2.1. Comerç d'emissions

El PK obliga un nombre important de països industrialitzats a reduir les emissions de GEH i estableix tres mecanismes per limitar el cost d'assolir aquestes reduccions d'emissions i complementar els plans i programes de mitigació de cada país. Els tres mecanismes són el comerç internacional d'emissions, l'aplicació conjunta (AC) i el mecanisme de desenvolupament net (MDN), i representen una aposta evident del PK pels instruments econòmics com a principals vehicles per a la reducció d'emissions. En termes generals, el comerç d'emissions és un instrument que pretén rebaixar el cost global del compliment de les reduccions d'emissions imposades pel PK o per qualsevol altre marc regulador que les limiti. Parteix d'un límit màxim imperatiu d'emissions que actua com a objectiu ambiental per assolir i que és distribuït entre els participants en el sistema de comerç en forma d'unitats o drets d'emissió, que en el cas del PK es coneixen amb el nom d'unitats o fraccions de la quantitat atribuïda (AAU, pel seu acrònim en anglès). Una AAU correspon a una tona de CO₂ eq.

El comerç d'emissions és un sistema de preus, en contraposició dels sistemes de rendes que incentiven o desincentiven comportaments amb subvencions o impostos. Permet, per tant, reduir d'una manera flexible les emissions globals de GEH a l'atmosfera mitjançant l'assignació inicial d'una quota de drets d'emissió i el lliure comerç posterior d'aquests drets entre els participants que tinguin un excés de drets i els que en siguin deficitaris. El comerç d'emissions es fonamenta, per tant, en dues premisses: 1) que els participants que tendiran a reduir les seves emissions són aquells amb uns costos de reducció més petits i 2) que el preu pagat per l'adquirent de les unitats excedents serà més petit que el cost de reducció directe de les emissions. El preu de la unitat d'emissió reflectirà, doncs, el cost estàndard de reducció (Rosembuj i Esquerra, 2005, pàg. 753).

15.2.1.1. Comerç d'emissions a la Unió Europea

El comerç d'emissions a la UE va ser concebut al principi d'aquesta dècada i els seus principis de funcionament van ser definits i establerts a la Directiva 2003/87/CE, transposada a l'Estat espanyol per la Llei 1/2005, i que ha estat modificada diverses vegades durant el període 2004-2008.¹ El principal canvi ha estat la publicació de la Directiva 2009/29/CE, que ha servit per estendre i millorar els procediments del mercat, tal com s'explica posteriorment a la secció 15.2.1.1.4.

El gener de 2005, el mercat va esdevenir operatiu, tot abastant inicialment més de 12.000 instal·lacions de producció d'energia i industrials de diversos sectors² (actualment ja són més de 15.000), i que en conjunt representaven aproximadament el 40% del total de les emissions europees de CO₂. L'assignació primària de drets i la seva distribució entre indústries pertanyents als sectors inclosos a la Directiva 2003/87 es defineix als plans nacionals d'assignació (PNA), concebuts per cada Estat membre i validats per la Comissió Europea. L'assignació s'estructura perquè la mitjana del període 2008-2012 representi una reducció d'emissions de GEH un 8% inferior respecte de les de l'any base (1990), tot complint així l'objectiu del PK per a la UE. Cal tenir en compte que els països de la UE són considerats com un conjunt o una «bombolla», la qual cosa significa que si bé l'objectiu global és una reducció del 8%, alguns països com Espanya poden incrementar les emissions (+15% respecte de l'any base), mentre que d'altres, com el Regne Unit, les han de reduir (-12,5%).

Els estats membres i la Comissió Europea aproven els PNA corresponents a cada període de compliment, essent-ne el 2008-2012 el període actual, i distribueixen l'assignació de cada país en forma d'AAU, de manera que cada unitat corres-

1. Vegeu, per exemple, Directiva 2004/101/CE i Directiva 2008/101/CE, que modifiquen la Directiva 2003/87/CE per: a) incloure les reduccions d'emissions provinents de projectes al comerç d'emissions europeu i b) incloure el sector de l'aviació al comerç d'emissions a partir de l'1 de gener de 2012.

2. Les principals indústries i sectors industrials emparats per la Directiva 2003/87/CE inclouen les instal·lacions de combustió amb una potència superior a 20 MW, les refineries d'hidrocarburs, plantes siderúrgiques i metal·lúrgiques, de fabricació de ciment, vidre, ceràmica, paper i cartró, entre d'altres.

Tipus	Principi	Descripció
Operacions al comptat (<i>Spot</i>)	Contractar avui per a compliment immediat	S'acorden unes determinades condicions i es tanca l'operació de manera immediata. El lliurament de drets i pagament es realitza a continuació.
Operacions a termini (<i>Forwards</i> i <i>futurs</i>)	Contractar avui per a compliment futur	Contracte mercantil de compravenda de drets que preveu el lliurament d'allò comprat i el seu pagament en un termini definit en el futur. Parlem de "futurs" quan les operacions es realitzen en un mercat borsari i de <i>forwards</i> quan les operacions es tanquen fora de mercats organitzats.
Operacions estructurades	Opció amb un major grau de complexitat financera	Contracte mercantil de compravenda que inclou diverses condicions i terminis de pagament i lliurament, així com, en alguns casos, combinació de valors negociables (EUA/CER).

Taula 1. Tipus d'operacions de compravenda al mercat d'emissions.

Font: elaboració pròpia.

pongui a una tona de CO₂eq. Alhora, una part d'aquestes AAU es distribueixen entre els sectors inclosos a la Directiva 2003/87/CE en funció d'un seguit de criteris, i prenent aleshores el nom d'unitats de la Unió Europea (EUA, pel seu acrònim en anglès). L'existència d'aquest règim comunitari de comerç de drets d'emissió, que distingeix entre unitats assignades als principals sectors industrials contaminants i l'Estat, com a representant de totes les altres emissions de GEH, permet que els titulars d'instal·lacions de qualsevol país de la UE puguin fer transaccions amb titulars d'un altre estat membre i no exclusivament amb titulars situats al seu mateix país, alhora que permet que els governs intercanviïn únicament les AAU amb altres estats membres, així com amb altres governs de països que tinguin establerts altres mercats d'emissions per complir els objectius del PK.

15.2.1.1.1. Funcionament del mercat europeu

Les emissions que una indústria té dret a emetre no estan limitades, però el que sí està limitat són les emissions que es poden emetre gratuïtament. Partint de les emissions emeses l'any 1990, els governs de la UE assignen a les instal·lacions industrials definides per la Directiva 2007/87/CE, anualment i de manera gratuïta, un límit màxim

d'EUA en funció d'una sèrie de projeccions per a cada sector i el seu històric d'emissions verificades des de l'any 2005. Si una instal·lació emet a final d'any menys CO₂ del que originàriament té assignat gratuïtament, en pot vendre l'excedent. Si, contràriament, una instal·lació emet més del que tenia assignat, haurà d'acudir al mercat i pagar per aquells drets d'emissió que li manquin.³

El PK no prohibeix, doncs, que les empreses emetin CO₂, sinó que tracta d'incentivar-les perquè ho facin al mínim possible. Els drets d'emissió tenen un preu que hauria de ser prou atractiu perquè aquells que tinguin capacitat per estalviar-los ho facin i després puguin vendre'ls. D'altra banda, les instal·lacions deficitàries es preocuparan de no sobrepassar massa el seu límit gratuït per no pagar en excés per aquells drets que necessitin. Aquest sistema es coneix amb el nom anglès de *cap and trade*, és a dir, «negociar a partir d'uns límits d'emissió». Teòricament, quan la demanda de drets és gran, els preus del CO₂ pugen, mentre que si l'oferta supera la demanda, els preus tendeixen a baixar.

3. En la Directiva 2003/87/CE, l'únic gas amb efecte d'hivernacle subjecte a comptabilitat i verificació a les instal·lacions industrials afectades, i al qual es refereixen les tones assignades gratuïtament, és el CO₂.

El mercat està format per tres tipus de participants: els participants de «compliment», que són aquelles instal·lacions industrials incloses en la Directiva 2003/87/CE que reben drets de forma primària (i gratuïta); els participants de «no compliment», que inclouen bancs, *brokers*, inversors intermediaris i particulars que compren o venen AAU i EUA, i, en tercer lloc, les borses o plataformes de negociació, que faciliten les transaccions entre instal·lacions i participants de «no compliment», que principalment inclouen l'*European Climate Exchange* (ECX) a Londres, *Blue- next* a París, *Nordpool* als Països Nòrdics, EEX a Leipzig, EXAA a Viena i SENDECO2 a Espanya, Itàlia i Portugal. En tractar-se d'un mercat global, els seus participants poden ser nacionals, europeus o internacionals i, per tant, és important assenyalar que qualsevol persona física o jurídica que ho desitgi hi pot participar.

15.2.1.1.2. Accés al mercat i riscos associats

Hi ha tres esquemes principals per fer la compravenda de drets d'emissió pel que fa al nombre i tipus d'actors participants: bilateralment, és a dir, mitjançant l'acord entre participants; de manera intermediada, mitjançant *brokers* i agents intermediaris, i mitjançant mercats organitzats, com ara plataformes o borses electròniques de negociació. Igualment, hi ha diferents tipus d'operacions de compravenda segons el grau de coneixement del mercat i el grau de sofisticació dels participants, així com de les particularitats del mercat en el moment de l'operació.

Al mercat dels EUA, el participant s'enfronta principalment a tres tipus de risc que li caldrà minimitzar. En primer lloc, té el risc de la liquiditat, és a dir, que no trobi contraparts amb qui negociar en el moment que ho necessiti. La gestió d'aquest risc obliga a cercar esquemes de regulació que fomentin i incentivin la participació, no únicament pel que fa al nombre d'entitats, sinó també en la seva assiduïtat negociadora. En segon lloc, el participant té el risc del preu, que consisteix en no posar-se d'acord en el preu de venda i, en tercer lloc, té el risc del crèdit, d'acord amb la possibilitat que, fins i tot quan s'hagi tancat la negociació de compravenda, no es compleixin els compromisos adquirits. La gestió d'aquest tercer risc empeny el participant a signar con-

tractes bilaterals, multilaterals, o amb borses que estableixin mecanismes per garantir plenament els drets-obligacions-sancions en l'operativa negociadora.

En funció de les característiques de cada empresa i de les seves instal·lacions, es decidirà com operar i segons quines condicions. En general, les empreses més grans, aquelles amb volums de drets més importants i amb més informació, utilitzen els serveis de les borses i dels *brokers* nacionals i internacionals, mentre que les empreses més petites, amb volums d'emissió menors, utilitzen els serveis d'intermediació locals per col·locar els seus excedents o comprar-ne quan són deficitàries. Entre el 2005 i 2008, la major part de les operacions, aproximadament el 70%, es realitzaven fora dels mercats organitzats, en el marc del mercat *Over the Counter* (OTC).⁴ A final de l'any 2008, i sobretot durant el 2009, es va invertir la tendència en benefici de les plataformes electròniques i en detriment del mercat OTC. El motiu d'aquest canvi ha estat, principalment, la gestió dels tres tipus de risc esmentats anteriorment, especialment la minimització del risc del crèdit. A causa de l'actual context econòmic i financer, els operadors més grans han preferit utilitzar les borses i plataformes electròniques que, per norma general, disposen d'una contrapart central que garanteix les transaccions al 100% i que, per tant, elimina el risc d'incompliment dels contractes de compravenda.

Pel que fa a l'estructura de les operacions, la majoria són de futur, ja que els grans participants del mercat (empreses elèctriques, bancs i *brokers*) utilitzen aquest sistema per realitzar les seves cobertures de risc i eliminar la possible volatilitat de preus. Així es limita la incertesa i s'assumeix el risc que en el futur les condicions poguessin ser més favorables. D'altra banda, es té la certesa que, en cap cas, les condicions no seran pitjors que les pactades. Per al 90% dels participants del mercat, però especialment per a les instal·lacions industrials, l'accés més utilitzat continua sent el pagament immediat al comptat. El motiu principal és la immediatesa i senzillesa del mercat

4. Generalment, la majoria d'operacions al mercat OTC es fan al comptat.

OTC, que no exigeix coneixements ni requisits sofisticats per accedir-hi. És, per exemple, el sistema més utilitzat per les PIME i per totes aquelles empreses que no tenen intenció d'especular amb els seus drets d'emissió (per exemple, la indústria ceràmica, paperera o del vidre).

15.2.1.1.3. Formació de preus i registres

El preu dels AAU i EUA ha estat generalment molt canviant i volàtil, influenciat per moltes variables. Per exemple, s'ha vist afectat per les expectatives climàtiques (i la demanda d'electricitat associada), tot augmentant el preu dels EUA amb el fred, la calor excessiva o la sequera (en haver de generar-se més electricitat cremant carbó i disposant de menys capacitat hidroelèctrica), i baixant-lo amb condicions meteorològiques favorables. Evidentment, el preu de matèries primeres com el petroli, el carbó i el gas també afecta l'evolució del preu del CO₂ (figura 1).

Existeix una relació directa entre el preu del petroli i el del dret d'emissió. En concret, coincidint amb els mesos de juny, setembre i novembre de 2009, quan el preu del petroli va arribar als nivells més alts, el preu del CO₂ també va arribar als seus màxims anuals. Contràriament, quan el petroli s'abarateix, el CO₂ també baixa de preu. S'esdevé el mateix, tot i que amb uns pendents

menys pronunciats i d'una manera més progressiva, amb el gas natural. En canvi, amb el carbó el comportament és invers. Quan puja el seu preu, baixa el del CO₂ i a l'inrevés. Així doncs, i per norma general, quan el petroli i el gas s'encareixen, a les empreses els acostuma a ser més rendible utilitzar el carbó com a combustible i pagar més per les emissions a canvi d'estalviar costos en combustible. Conseqüentment, hi haurà més demanda de drets de CO₂ per compensar les emissions addicionals, es reduirà l'oferta i, per tant, els EUA s'encariran. Si la situació és a la inversa, i el petroli i el gas s'abarateixen, augmentarà l'oferta de drets disponibles al mercat (les empreses deixen de necessitar-los), baixarà la demanda, i el preu dels EUA disminuirà.

Adicionalment al preu de les matèries primeres energètiques, l'aprovació dels diferents PNA i la posada en marxa dels registres nacionals, amb més o menys rapidesa i eficiència, també ha afectat les expectatives dels participants i el preu dels EUA. L'article 19 de la Directiva 2003/87/CE exigeix la creació i el manteniment, per cada Estat membre, d'un registre que permeti portar els comptes exactes de l'expedició, la titularitat, la transferència i la cancel·lació de drets d'emissió. El Registre de drets establert a Espanya va ser creat per la Llei 1/2005 amb la denominació de

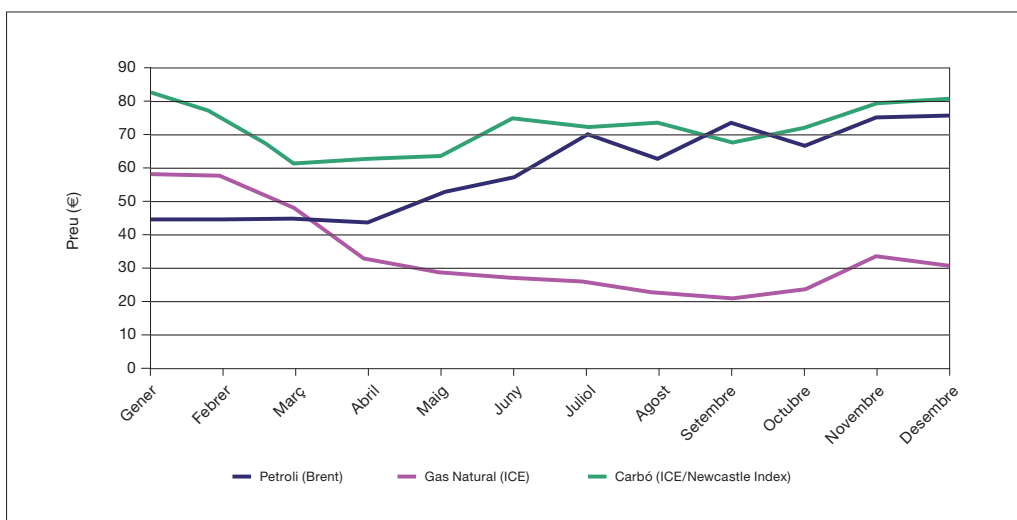


Figura 1. Evolució del preu de les matèries primeres per a la producció d'electricitat, 2009.
Font: SENDECO2.

Registre nacional de drets d'emissió (RENADE). Els diversos registres nacionals formen part d'un sistema integrat de registres que a nivell europeu es denomina 'Registre comunitari independent de les transaccions' (CITL, per la seva sigla en anglès), que alhora està integrat al 'Registre internacional de transaccions' (ITL, per la sigla en anglès). Els registres de transaccions, CITL i ITL, tenen com a funció controlar en temps real que les operacions dins d'un registre o entre ells segueixin la normativa comunitària i internacional. L'ITL és administrat per la secretaria de la CMNUCC, mentre que el CITL és gestionat per la Comissió Europea.

15.2.1.1.4. Evolució del mercat europeu

A la UE, l'any 2008 hi havia al voltant de 15.000 instal·lacions industrials europees afectades pel comerç d'emissions,⁵ gestionades per unes 6.000 empreses, de les quals només unes 200 gestionaven activament els seus excedents i necessitats de drets, en funció dels nivells i expectatives de producció i dels preus fluctuants de les fonts d'energia alternatives. Malgrat que el segment de les PIME està involucrant-se lentament al mercat amb l'objectiu d'optimitzar els seus recursos, és fonamental que, per assolir els objectius del PK, les empreses afectades facin un esforç per: 1) analitzar periòdicament les seves necessitats de drets vinculant-les amb el seu nivell de producció, 2) estudiar la millor estratègia de cobrir i rendibilitzar les seves posicions, 3) accedir a informació i preus de manera transparent i eficient, i 4) per evitar riscos, no esperar a l'any 2012 per participar-hi.

Període 2005-2007

El 80% del mercat d'emissions de CO₂ a nivell mundial està concentrat a la UE, ja que ha estat pionera a l'hora de definir, regular i implementar un sistema de comerç de drets d'emissió de GEH. A més, tot i que el període de compromís determinat pel PK comprenia els anys 2008-2012, la UE va decidir avançar el desenvolupament del

règim de comerç d'emissions propi i posar en marxa un període de prova, plenament vinculant i obligatori, entre els anys 2005 i 2007. Des del punt de vista d'implementació d'una nova normativa i metodologia de compliment, aquest primer període va ser un èxit. Les instal·lacions industrials havien de monitorar les seves emissions, verificar-les en acabar l'any i aplicar tota una sèrie de requeriments ambientals per tal d'avaluar exactament quines havien estat les seves emissions i, per tant, conèixer si es trobaven en una posició deficitària o excedentària respecte de la quota gratuïta de drets rebuts per part dels governs. El component tècnic de la normativa es va entendre i les empreses van aconseguir ajustar els seus processos i procediments al que exigia la UE. Des de la perspectiva del mercat, però, els resultats van ser més modestos. El preu del dret d'emissió va passar de 30 € per tona de CO₂ a mitjan 2006 a 0,02 € al final de 2007 i és evident que aquesta davallada no va incentivar les indústries a reduir de manera substancial les emissions de CO₂. Quin va ser el problema? D'una banda, va haver-hi molta més oferta de drets que no pas demanda. La manca d'escenaris històrics d'emissions per a la majoria dels sectors industrials va comportar que els PNA fossin força laxos i assignessin més drets a les indústries dels que realment necessitaven. D'altra banda, no es va tenir en compte l'alentiment de l'activitat industrial a partir de principi de l'any 2007 i tot plegat es va traduir en un excedent d'EUA superior a 200 milions de tones entre 2005 i 2007 que va col·lapsar el mercat. A aquesta davallada de preus, també hi va contribuir el fet que els drets d'emissió expiraven al final del 2007 i que no es podien utilitzar durant el següent període de compliment (2008-2012). La taula 2 mostra l'evolució de les emissions verificades dels principals països de la UE comparades amb les originalment assignades per al període 2005-2007. És a dir, compara les quotes gratuïtes disponibles amb les emissions reals de les indústries, així com l'evolució en el nombre d'instal·lacions participants. S'hi evidencia que, tot i l'augment progressiu del nombre d'instal·lacions participants i la demanda potencial, l'excedent de drets supera els 100 milions anuals, mentre que l'Estat espanyol és deficitari durant tot el període.

5. El nombre d'instal·lacions regulades pel comerç d'emissions varia anualment a causa l'entrada i sortida de participants, per exemple arran de l'establiment de noves plantes de cogeneració o al tancament d'instal·lacions.

Estats	Emissions verificades (Mt CO ₂ eq.)			Assignació anual 2005-2007	Instal·lacions industrials		
	2005	2006	2007		2005	2006	2007
—	—	—	—	—	2005	2006	2007
Àustria	33.372.826	32.382.804	31.751.165	32.900.512	199	197	210
Bèlgica	55.363.223	54.775.314	52.795.318	62.114.734	309	309	309
República Txeca	82.454.618	83.624.953	87.834.758	97.267.991	395	405	406
Dinamarca	474.990.760	478.016.581	487.004.055	498.390.019	1.842	1.851	1.915
Espanya	183.626.981	179.711.225	186.495.894	178.838.295	800	944	1.052
França	131.263.787	126.979.048	126.634.806	154.909.186	1.084	1.089	1.094
Grècia	71.267.736	69.965.145	72.717.006	74.400.198	140	152	153
Itàlia	225.989.357	227.439.408	226.368.773	223.070.435	943	996	1.009
Holanda	80.351.288	76.701.184	79.874.658	88.942.336	210	211	213
Polònia	203.149.562	209.616.285	209.601.993	237.838.568	817	817	869
Portugal	36.425.915	33.083.871	31.183.076	38.161.413	243	254	260
Suècia	19.381.623	19.884.147	15.348.209	23.209.832	705	730	755
Eslovàquia	25.231.767	25.543.239	24.516.830	30.489.902	175	173	169
Regne Unit	242.513.099	251.159.840	24.516.830	224.831.370	769	774	1.057
Total	2.012.043.453	2.033.636.557	2.049.927.884	2.151.926.173	10.282	10.605	11.186

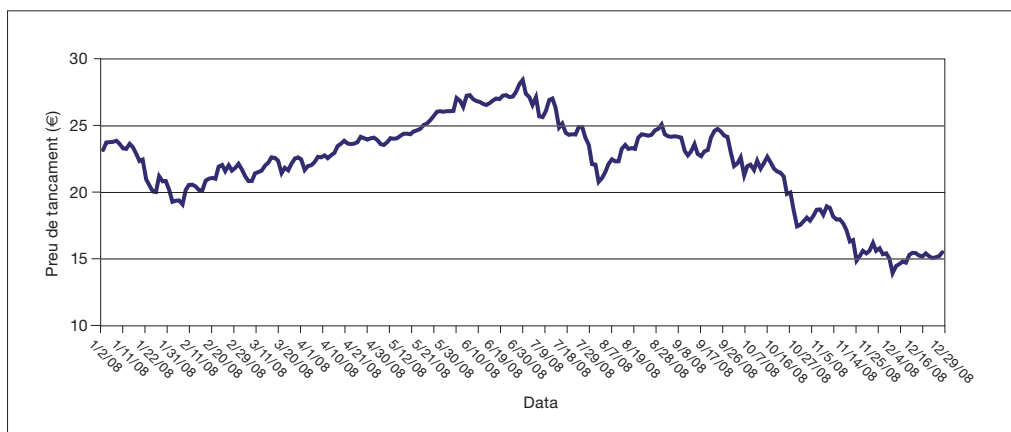
Taula 2. Evolució d'emissions verificades i assignacions dels estats membres el 2005-2007.

Font: <http://ec.europa.eu/environment/ets/>.

Període 2008-2012

L'any 2008 va ser el primer any oficial de compliment del PK. Es va assolir un preu màxim històric de 28,30 € per tona de CO₂ al juliol de 2008 i un mínim de 13,72 € pel desembre de 2008 (figura 3). La volatilitat de preus ha estat un risc inherent a la gestió dels drets d'emissió, però també ha afavorit la participació d'entitats

financeres i d'inversió en el mercat, que han aportat liquiditat, tot suportant els preus quan el sector energètic no ha estat actiu, i oferint preus venedors quan els sectors «venedors» han sortit del mercat. De fet, gràcies al sector financer s'ha pogut crear un veritable mercat de derivats del CO₂ amb liquiditat suficient en futurs i opcions, eines necessàries per a la cobertura del risc de

Figura 2. Evolució acumulada del preu del CO₂ durant l'any 2008.

Font: SENDECO2.

grans empreses industrials. L'*European Climate Exchange*, la borsa de futurs i opcions de CO₂ més gran del món, va tenir un creixement de més del 100% entre els anys 2007 i 2008, i va passar de negociar 980 milions de tones l'any 2007 a negociar-ne 1.991 milions l'any 2008. Això representa, només en derivats d'aquesta borsa, una xifra propera als 15.000 M€. De fet, l'any 2008, el mercat va registrar un increment del 83% del volum de drets negociats, malgrat que el creixement de l'economia mundial s'havia alentit considerablement.

Durant l'any 2009, la demanda i l'oferta es van mantenir força estables a partir del segon trimestre i el preu de la tona més habitual es va situar entre els 12 € i 14 €, si bé puntualment es va arribar als 9 € (per baix) i als 15 € (per dalt). Al principi de 2009, la correlació habitual amb el preu del petroli es va veure lleument distorsionada per rumors sobre l'excedent de drets disponibles després de les assignacions a les instal·lacions a final de febrer. La realitat va demostrar que el preu no tan sols no va baixar, sinó que va pujar i es va mantenir durant la resta de l'any.

Període 2013-2020

Independentment de la més o menys pròxima existència d'un acord vinculant de reducció d'emissions post-Kyoto, l'abril de 2009 la UE va adoptar l'anomenat Paquet d'Energia i Clima, configurat per les directives 2009/28/CE, 2009/29/CE i 2009/31/CE, així com una Decisió complementària per definir els esforços de reducció d'emissions dels estats fins al 2020 (Decisió 406/2009/CE). Aquest marc legislatiu implica el compromís ferm de produir el 20% de l'energia a partir de fonts renovables, d'assolir un 10% d'energies renovables en el consum d'energia del sector transport, d'augmentar l'eficiència energètica en un 20% i de reduir les emissions un 20% respecte de les emissions verificades el 2005, incloent-hi una reducció del 10% per als sectors difusos,⁶ l'any 2020. Els sectors difusos in-

clouen la mobilitat, els residus, l'agricultura, el sector residencial, el comercial, la construcció, la indústria i el sector de transformació de l'energia no inclòs en la Directiva 2003/87/CE, entre d'altres.

La nova Directiva 2009/29/CE modifica l'actual mercat d'emissions europeu i estableix que, a partir del 2013, l'assignació a les instal·lacions industrials deixarà de realitzar-se per països i es realitzarà a nivell europeu. La Directiva limita substancialment les assignacions gratuïtes i estableix tres fórmules bàsiques per assignar EUA: a) 100% de subhasta per a la generació elèctrica (encara que es preveu un règim d'excepcions per a determinats estats, tal com s'explica més endavant); b) 100% d'assignació gratuïta als sectors exposats a «fugues de carboni», és a dir, a la deslocalització industrial cap a països sense objectius de reducció d'emissions; i c) introducció gradual de la subhasta per als sectors industrials que no estiguin exposats a processos de deslocalització: del 20% el 2013 al 70% el 2020 (per tal d'assolir el 100% el 2027). Correspondrà als governs de la UE decidir quin ús volen fer dels ingressos recaptats per les subhastes, si bé almenys el 50% s'haurà de destinar a actuacions i programes de mitigació del canvi climàtic, com ara la promoció de les energies renovables i l'eficiència energètica, el foment de la conservació i la gestió dels embornals a països en desenvolupament, i la promoció de sistemes de transport públic, entre d'altres.

Els drets d'emissió corresponents al període anterior, 2008-2012, podran ser utilitzats al futur règim de comerç i, per tant, no caldrà posar a la venda els excedents al final del 2012, per tal d'evitar un possible col·lapse de preus semblant al produït al final del 2007. També cal destacar que la nova Directiva incorpora nous sectors industrials i hi preveu l'entrada del sector de la navegació marítima, així com nous GEH, entre els quals els perfluorocarbons i l'òxid nitrós. Pel que fa als preus estimats pel període 2013-2020, sembla que els drets tendiran a encarir-se al llarg dels anys. Hi ha previsions que parlen de preus entorn dels 25 o 30 € el 2013, que s'incrementarien fins als 45 o 50 € l'any 2020, si bé el més acurat seria suggerir una tendència de preus a l'alça, però de valors difícils de determinar *a priori* si tenim en compte les nombroses variables que fins ara han afectat els preus del CO₂.

6. Directiva 2009/28/CE, relativa al foment de l'ús de l'energia provinent de fonts renovables. Directiva 2009/29/CE, per la qual es modifica la Directiva 2003/87/CE per perfeccionar i ampliar el règim comunitari de comerç de drets d'emissió i de gasos amb efecte d'hivernacle. Directiva 2009/31/CE relativa a l'emmagatzematge geològic de diòxid de carboni.

15.2.1.2. La participació de l'Estat espanyol i de Catalunya en el comerç d'emissions

La taula 3 mostra l'evolució de les emissions a Espanya durant el període 1990-2008 i les compara amb el creixement demogràfic i econòmic (PIB). Es tracta de les emissions globals en l'àmbit de país que inclouen tant les generades per elèctriques i sectors industrials com pels sectors difusos. S'hi observa que les emissions van de créixer substancialment l'any 2008 a causa de la caiguda del PIB i la desacceleració econòmica, que lògicament també es va traduir en una reducció de les emissions per càpita.

Tal com s'ha assenyalat anteriorment (secció 15.2.1.1), el compromís adoptat per l'Estat espanyol en el marc del PK consisteix a no augmentar les emissions per sobre del 15% respecte de l'any 1990. La realitat, però, és que les emissions de l'Estat han augmentat molt significati-

vament des d'aleshores i l'any 2007 superaven un 52% les de l'any base. Davant d'aquesta situació, el Govern espanyol va elaborar el PNA per al període 2008-2012, que preveia un increment del llindar de compliment al 37% respecte de l'any base. Aquesta xifra s'obtingria, segons el PNA, de sumar el 15% autoritzat inicialment pel PK a un 2% derivat de l'absorció de CO₂ duta a terme pels embornals durant els cinc anys de compliment, i a la compra de drets d'emissió provinents de projectes de reducció d'emissions (vegeu seccions 15.2.2 i 15.2.3), que compensarien l'altre 20% restant. Fins i tot així, cal reduir substancialment les emissions internament, perquè aquestes, el 2008, encara se situaven un 42,7% per sobre de l'any base, és a dir, quasi sis punts percentuals per sobre del llindar del 37%.

Seguint les directrius del PNA vigent, durant el 2008 l'assignació gratuïta de l'Estat a les instal·la-

	Percentatge	Emissions (KtCO ₂ e)	Població espanyola (milers)	Emissions per habitant (tCO ₂ e)	PIB	Variació interanual d'emissions (%)	Variació interanual emissions respecte de l'any base (%)
An y base	100	289.773,21	39.887,14	7,3			
Límit PK	115	333.239,19	47.000,00	7,1			
1990	99,43	288.134,66	39.887,14	7,2	3,8	1,9	-0,6
1991	101,68	294.649,88	38.872,27	7,6	2,5	2,3	2,2
1992	104,23	302.032,46	39.137,98	7,7	0,9	2,5	2,5
1993	100,33	290.740,25	39.790,96	7,3	-1,0	-3,7	-3,9
1994	105,96	307.043,47	40.229,60	7,6	2,4	5,6	5,6
1995	110,14	319.165,94	40.460,05	7,9	2,8	3,9	4,2
1996	107,65	332.714,09	39.669,39	7,9	2,4	-2,3	-2,5
1997	114,82	332.714,09	39.720,12	8,4	3,9	6,7	7,2
1998	118,47	343.289,93	39.852,65	8,6	4,3	3,2	3,6
1999	128,24	371.607,11	40.202,16	9,2	4,0	8,2	9,8
2000	133,13	385.767,75	40.499,79	9,5	5,0	3,8	4,9
2001	133,25	386.118,09	41.116,84	9,4	3,6	0,1	0,1
2002	139,10	403.064,52	41.837,89	9,6	2,7	4,4	5,8
2003	141,58	410.257,65	42.717,06	9,6	3,1	1,8	2,5
2004	147,02	426.018,47	43.195,68	9,9	3,3	3,8	5,4
2005	152,24	441.150,50	44.108,53	10	3,6	3,6	5,2
2006	149,45	433.069,76	44.708,96	9,7	3,9	-1,8	-2,8
2007	152,64	442.321,56	45.200,74	9,8	3,8	2,1	3,2
2008	142,70	413.519,62	46.157,80	9,0	1,2	-6,5	-9,9

Taula 3. Emissions de CO₂ a Espanya des de l'any 1990.

Font: CCOO, *Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990-2008)*.

cions afectades per la Directiva 2003/87/CE es va reduir un 24% respecte de les emissions reals de 2005, amb l'objectiu de crear escassetat i no repetir els errors del període de prova 2005-2007. Una vegada obtingudes les darreres dades disponibles corresponents a les verificacions de 2008, s'observa que la generació elèctrica, responsable de més del 50% de les emissions dels sectors regulats, va reduir un 16,1% les seves emissions respecte dels nivells de 2007. Malgrat això, encara va superar amb escreix l'assignació gratuïta donada pel Govern l'any 2008, que va ser de 52 milions de tones, mentre que les seves emissions van arribar a 89 milions (un 45% més del que li corresponia). La resta de sectors industrials van patir significativament la crisi i, consegüentment, van reduir la producció i, per tant, també les emissions. Dels aproximadament 100 milions de drets assignats, van tenir un excedent aproximat d'un 20%.

A Espanya, el comerç d'emissions va afectar al voltant de 1.091 instal·lacions l'any 2008, que van emetre més de 163 MtCO₂ eq. i que, per tant, van ser responsables d'un 40,3% de les emissions de l'Estat aquell mateix any (405,05 MtCO₂e) (MMA, 2010). El 44% d'aquestes corresponia a instal·lacions de combustió i de generació elèctrica, mentre que l'altre 56% corresponia a instal·lacions industrials en el sector del ciment, el paper i la siderúrgia, entre d'altres (MMA, 2009a). Les elèctriques espanyoles han estat fins ara les empreses més actives en la compravenda de drets d'emissió. La majoria de les seves operacions es van dirigir a resoldre la demanda de les seves plantes de producció i a maximitzar els beneficis mitjançant uns equips humans molt professionalitzats. Pel que fa a llur tipologia, a part de les típiques transaccions al comptat, també es van dur a terme operacions estructurades i complexes amb un elevat component financer (permutes de drets per crèdits d'emissió, compres a futur, opcions...) que els han permès prendre posicions al mercat assumint cert risc, però que, alhora, han generat rendiments més atractius. La resta de sectors industrials, menys sofisticats i més conservadors, s'han limitat a optimitzar els seus excedents mitjançant vendes al comptat dels seus drets sobrants o, en el cas d'indústries deficitàries, a compensar els seus déficits amb els drets de l'any següent.

A Catalunya hi havia al voltant de 185 instal·lacions afectades l'any 2008, que representaven un 11,5% de les emissions regulades i un 4% de les emissions totals nacionals (DMAH, 2009). Només 41 de les instal·lacions verificades van resultar ser deficitàries al final de l'exercici, especialment concentrades en el sector de la generació elèctrica. Això vol dir que el 78% de les plantes va rebre més drets dels que va utilitzar, probablement per una combinació entre les mesures de millora implementades a les indústries catalanes, les seves bones pràctiques i per la baixada de la seva producció durant la crisi. La taula 4 mostra les emissions dels sectors regulats, tant assignades com verificades. S'hi pot observar que les emissions reals dels sectors regulats en conjunt van disminuir l'any 2008 un 5,65% respecte de l'any anterior (-1.124.289 tones), un 4,8% respecte del 2006 (-944.693 tones) i un 6,3% respecte del 2005 (-1.247.995 tones). Entre aquests sectors, la reducció més dràstica correspon al sector cimentar a causa de la davallada productiva de la construcció (les emissions de 2008 són un 18,6% inferiors a les de 2007). També s'hi observa que tots els sectors excepte l'elèctric verifiquen menys emissions de les que disposaven i, per tant, van poder vendre-les (amb excepció del sector ciment i de la calça els anys 2005 i 2006, respectivament). En contrast, si tenim en compte els sectors de producció d'energia, tant les elèctriques com les centrals de combustió i cogeneració, s'observa que les emissions s'incrementen any rere any a causa, principalment, de la demanda creixent d'energia elèctrica de la població, el pes creixent del gas natural en la producció d'electricitat (Iraegui, 2009) i el relatiu baix percentatge de les energies renovables en el conjunt de l'energia primària consumida a Catalunya (Ramos Martín *et al.*, 2009). Aquest increment consolida la trajectòria ascendent del sector els darrers anys, que va augmentar les emissions un 5,1% de mitjana anual durant el període 2003-2007 (Generalitat de Catalunya, 2009, pàg. 62).

El 2009, malgrat no disposar encara de les dades verificades, la davallada d'emissions de la majoria de sectors industrials deu haver continuat tant a Catalunya com a la resta de l'Estat. La crisi global ha afectat especialment la producció de les indústries i la seva demanda d'energia. Aquest fet influeix directament en la reducció de les emis-

	2005			2006			2007			2008		
	Emissions assignades (tCO ₂ e)	Emissions verificades (tCO ₂ e)	Assignació-Emissió (tCO ₂ e)	Emissions assignades (tCO ₂ e)	Emissions verificades (tCO ₂ e)	Assignació-Emissió (tCO ₂ e)	Emissions assignades (tCO ₂ e)	Emissions verificades (tCO ₂ e)	Assignació-Emissió (tCO ₂ e)	Emissions assignades (tCO ₂ e)	Emissions verificades (tCO ₂ e)	Assignació-Emissió (tCO ₂ e)
Elèctriques	4.309.234	5.816.725	-1.507.491	3.577.833	5.033.612	-1.455.779	3.498.017	5.180.189	-1.682.172	2.487.798	5.052.680	-2.564.882
Cogeneració i combustió	3.481.160	3.002.840	478.320	4.864.566	3.655.861	1.208.705	5.821.617	3.811.286	2.010.331	5.150.801	4.398.003	752.798
Refineries	2.928.451	2.832.719	95.732	2.928.451	2.784.072	144.379	2.928.451	2.836.669	91.782	2.803.148	2.620.212	182.936
Calç	325.117	286.602	38.515	325.117	326.489	-1.372	325.117	317.826	7.291	344.042	301.063	42.979
Acer	295.922	266.720	29.202	301.852	277.375	24.477	307.775	286.915	20.860	321.117	263.837	57.280
Ciment	6.311.856	6.314.544	-2.688	6.311.856	6.168.807	143.049	6.311.856	6.025.335	286.521	6.200.610	4.905.729	1.294.881
Vidre	435.540	412.088	23.452	435.540	413.854	21.686	435.540	377.593	57.947	409.498	363.462	46.036
Ceràmica	646.471	573.656	72.815	639.419	550.017	89.402	632.450	564.320	68.130	555.636	372.173	183.463
Paper	559.865	555.936	3.929	582.234	548.441	33.793	583.847	537.989	45.858	685.591	536.676	148.915
Total	19.293.616	20.061.830	-768.214	19.966.868	19.758.528	208.340	20.844.670	19.938.122	906.548	18.958.241	18.813.835	144.406

Taula 4. Evolució d'emissions per sectors durant el període 2005-2008 a Catalunya.
Font: elaboració pròpia a partir de dades de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Generalitat de Catalunya.

sions i, per tant, en la generació d'excedents de drets. En el cas espanyol, cal apuntar l'especial incidència de la crisi en el sector de la construcció, l'activitat de la qual ha caigut un 60% a nivell global, i tenir en compte que aquest sector inclou directament o indirecta la majoria d'indústries subjectes a la Directiva 2003/87/CE. Així doncs, els excedents estimats el 2009 per les indústries espanyoles podrien representar un increment entorn del 15% respecte del 2008, si bé seran possiblement comprats pel sector elèctric, que, malgrat continuar amb la tendència de reducció d'emissions per KW generat, es mantindrà neta-ment com a sector deficitari.

15.2.2. Mecanismes de reducció d'emissions mitjançant projectes

Com s'ha esmentat anteriorment, el PK estableix dos mecanismes addicionals al comerç d'emissions per facilitar el compliment amb els objectius del PK. Aquests mecanismes es basen en projectes que es desenvolupen sobre l'assumpció d'una línia base d'emissions futures i que duen a terme una o diverses accions de mitigació que efectivament redueixen les emissions respecte de la línia base (Rosembuj i Esquerria, 2005, p. 765).

15.2.2.1. L'aplicació conjunta

L'aplicació conjunta (AC) es defineix a l'article 6 del PK i permet a qualsevol país de l'annex B obtenir unitats de reducció d'emissions (ERU, per l'acrònim en anglès) mitjançant projectes de reducció d'emissions a qualsevol altre país de l'annex B. Les ERU obtingudes computen directament contra les quotes atribuïdes als països respectius, és a dir, es resten de la quota del país hoste del projecte i se sumen a la quota del país d'origen i han de ser degudament verificades per una organització independent. L'AC es va concebre amb l'objectiu de promoure la transferència tecnològica i la cooperació entre països de l'annex B i amb el supòsit que els ERU generats pels projectes podrien ser competitius quant a cost en comparació amb les EUA comercialitzades al sistema de comerç d'emissions.

L'AC, però, no s'ha traduït fins ara en un gran nombre de projectes si la comparem amb el mecanisme de desenvolupament net (vegeu secció següent). El mes de desembre de 2009 hi havia

76 projectes registrats per la Junta de Govern de l'AC i 167 pendents de validació i registre. Els projectes registrats es troben als països següents: Bulgària, República Txeca, Estònia, França, Alemanya, Hongria, Lituània, Nova Zelanda i Ucraïna. No hi ha, fins al moment, cap projecte desenvolupat a l'Estat espanyol, ni cap empresa espanyola o catalana que hagi invertit en aquest tipus de projectes en altres països.

15.2.2.2. El Mecanisme de Desenvolupament Net

El mecanisme de desenvolupament net (MDN), definit a l'article 12 del PK, permet als governs dels països de l'annex B i a les empreses regulades pel comerç d'emissions obtenir reduccions d'emissions generades a partir de projectes implementats a països en desenvolupament. Les reduccions d'emissions corresponents es coneixen amb el nom de reduccions certificades d'emissions (CER, per l'acrònim en anglès) i es poden adquirir directament dels projectes, d'agents intermediaris especialitzats o de les plataformes electròniques, perquè CER, ERU i EUA han esdevingut fungibles des del punt de vista del mercat europeu, si bé tenen preus diferents.⁷

Els procediments per a la determinació i implementació de projectes MDN estan estipulats en els Acords de Marràqueix (2001)⁸ i són força complexos. Generalment, es pot afirmar que un projecte MDN ha de complir les quatre premisses següents:

1. Establir una línia base d'emissions futures conservadora i tenint en compte, per exemple, l'adopció potencial de mesures de reducció d'emissions i d'eficiència de baix cost, i determinar les reduccions esperades com a conseqüència de les accions de mitigació promogu-

7. La Directiva 2004/101/CE estableix les provisions per poder comercialitzar CER i ERU dins el sistema de comerç d'emissions, de tal manera que aquests crèdits esdevinguin fungibles amb les EUA mitjançant l'ITL. Aquesta Directiva exclou, però, la possibilitat de poder incorporar CER i ERU provinents de projectes d'aforestació i reforestació al sistema de comerç d'emissions.

8. Els Acords de Marràqueix descriuen les provisions per al desenvolupament del PK en cadascun dels seus articles. Aquestes provisions van ser consensuades i aprovades a la 7a Conferència de les Parts a Marràqueix, l'any 2001.

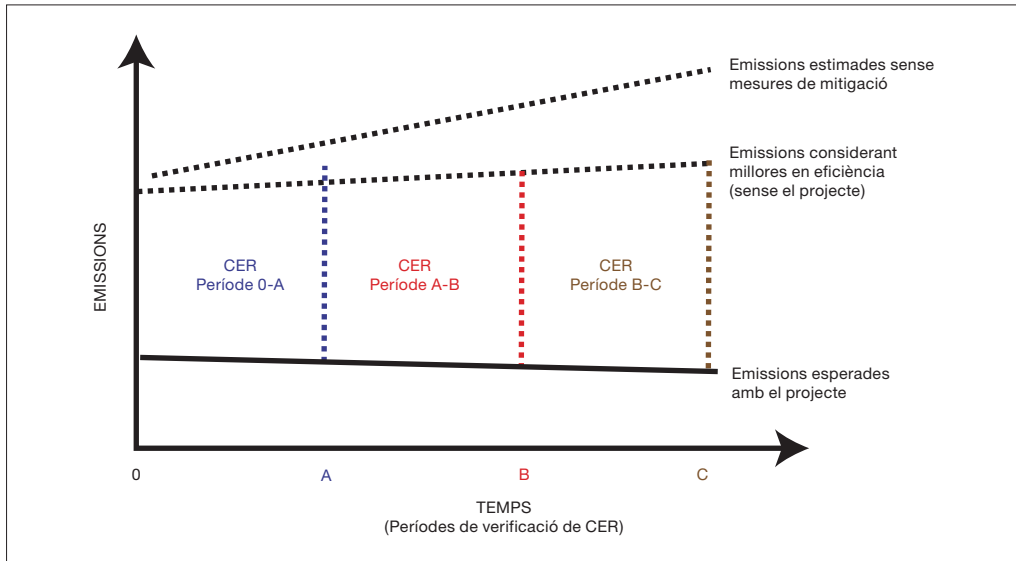


Figura 3. Línia base i addicionalitat d'un projecte MDN.
Font: elaboració pròpia.

- des del projecte. A la figura 3, les àrees que queden compreses entre la línia base conservadora i les emissions reals amb el projecte contenen el volum d'emissions que poden ser acreditades, després de cada verificació (A, B o C).
2. Demostrar l'addicionalitat del projecte, és a dir que el projecte no es podria desenvolupar sense comptar amb els ingressos derivats de la venda de CER, i que no comportarà l'ús de fons d'ajuda per al desenvolupament al país hoste.
 3. Demostrar que no provocarà l'increment de les emissions fora del sistema del projecte, és a dir que evitarà i assegurarà el control de les fugues d'emissions.⁹
 4. Determinar-se acompanyat d'un procés de consulta i d'aprovació que incorpori els principals actors implicats i justificar que contribueix al desenvolupament sostenible del país hoste i, quan s'escaigui, de les poblacions locals.

9. L'anàlisi de les possibles fugues d'emissions depèn en bona mesura de la definició de l'entorn operacional del projecte. Per exemple, un projecte MDN de reforestació implementat en una àrea comunitària de pastura podria comportar que alguns camperols traslladessin els seus ramats a altres àrees forestals i degradessin la biomassa existent en altres àrees properes a la zona de reforestació. Aquest procés caldria documentar-lo, quantificar-lo i finalment ajustar les reduccions d'emissions previstes.

En la definició i implementació d'un projecte MDN, hi participen diversos actors (taula 5). En primer lloc, el càlcul de la línia base i les reduccions d'emissions del projecte s'elabora seguint les metodologies aprovades per la Junta Executiva de l'MDN, i tota la resta de la definició també segueix unes determinades directrius, contingudes en el Document de definició de projecte (DDP).¹⁰ En aquest procés, normalment hi participen diversos actors, com el gestor del projecte, consultories especialitzades i els principals inversors del projecte, siguin o no siguin els futurs compradors dels CER. En segon lloc, quan s'ha enllestit l'elaboració del DDP, aquest és validat per una entitat operacional designada (EOD) i aprovat per les autoritats nacionals designades (AND) del Govern del país hoste i dels governs dels corresponents inversors, siguin aquests últims governs o empreses.

A continuació, la Junta Executiva de l'MDN avalua el projecte, l'aprova i el registra o, al contrari, hi fa recomanacions i sol·licita que es resolguin els problemes identificats. Quan el projecte s'aprova, aleshores es registra oficialment com a projecte MDN i pot començar a operar.

10. Trobareu els documents oficials referits a l'MDN a l'adreça <http://cdm.unfccc.int/index.html>.

Prèviament a la comercialització dels CER, les reduccions són verificades per una altra EOD i registrades per la Junta Executiva de l'MDN, que

Desenvolupador del projecte
Pot ser el propietari del projecte o una organització externa que desenvolupa el Document de Definició del Projecte (DDP) a canvi d'una retribució monetària. En alguns casos, el desenvolupador del projecte també pot adquirir drets preferencials sobre els CER.
El DDP inclou, entre d'altres, les característiques clau del projecte, l'elaboració de la línia base, les reduccions d'emissions esperades, el sistema de monitoratge, el procés de consulta a nivell local, i els impactes econòmics, socials i ambientals.
http://cdm.unfccc.int/Reference/PDDs_Forms/PDDs/index.html
Propietari del projecte
És l'organització o organitzacions responsables de dur a terme el projecte a nivell local. Poden ser agències governamentals, administracions locals, fundacions, ONG o empreses privades. Segons que estigui estipulat en el DDP (DDP), poden esdevenir també els propietaris dels CER per vendre'ls posteriorment al mercat.
Autoritat nacional designada (AND)
Dependència governamental encarregada d'aprovar el desenvolupament de projectes MDN, d'acord amb els DDP. L'aprovació dels projectes per les AND dels països hostes del projecte i dels possibles receptors de CER és una condició <i>sine qua non</i> per al posterior registre del projecte.
Entitat operacional designada (EOD)
Organització independent que valida i/o verifica els DDP, i que ha d'estar reconeguda i registrada per la Junta Executiva de l'MDN. http://cdm.unfccc.int/DOE/list/index.html
L'informe de validació constitueix una avaluació del DDP, que inclou un període de consulta internacional facilitat per la mateixa EOD.
L'informe de verificació determina si les reduccions d'emissions d'un projecte MDN han tingut lloc efectivament i si el projecte s'ha desenvolupat segons els principis i procediments definits al DDP.
Junta Executiva de l'MDN
La constitueixen 10 membres de països de l'annex I i no-annex I de la CMNUCC, que van canviant cada dos o quatre anys. La Junta és responsable d'aprovar noves metodologies per al desenvolupament de projectes, d'acreditar EOD, revisar i aprovar els informes de validació i verificació, i de registrar els corresponents CER.

Taula 5 Actors i funcions en la definició i la implementació d'un projecte MDN.

Font: elaboració pròpia.

aleshores transfereix els CER al compte de drets d'emissió dels compradors existent als corresponents registres nacionals.¹¹ És possible que l'EOD consideri que no s'han generat totes les reduccions esperades i que, per tant, es registri i comercialitzi un volum de CER inferior a l'establert al DDP, tot afectant així els escenaris i retorns financers del projecte. La Junta Executiva de l'MDN destina un 2% del valor dels CER comercialitzats per cada projecte al Fons d'Adaptació del PK (vegeu secció 15.4.2).

Des del moment en què s'inicia la definició d'un projecte fins que finalment és registrat, poden passar entre 12 i 24 mesos. El cost de desenvolupament i validació és significatiu i, en funció del tipus de projecte, pot oscil·lar entre els 35.000 i els 175.000 € (Bayon *et al.*, 2007). Per als propietaris i gestors de projectes, l'excessiva burocratització del mecanisme també implica elevats costos de transacció i fins ara ha limitat considerablement l'oferta de drets disponibles. A més, la Junta de Govern de l'MDN ha actuat com un coll d'ampolla i no ha disposat de suficients recursos i personal per fer front al gran nombre de projectes que s'han definit durant els últims cinc anys.

El desembre de 2009, l'MDN comptava amb 1.915 projectes registrats per la seva Junta Executiva i un total de 2.867 projectes pendents de validació i registre (Fenhann, 2009). Les principals tipologies de projectes inclouen la promoció d'energia hidroelèctrica, eòlica, la biomassa, i la captura de metà o d'altres gasos en instal·lacions agroramaderes i abocadors. La majoria dels projectes estan localitzats a la Xina, l'Índia, el Brasil i Mèxic, i per tant una proporció molt significant dels CER comercialitzats entre el 2008 i el 2012 provindran de projectes operatius en aquests països. Vint-i-set projectes que promouen la destrucció d'hidrofluorocarbons, localitzats en la seva majoria a la Xina, proveiran el 17% dels CER comercialitzats fins a l'any 2012 i un 17% i 10% provindran dels projectes d'energia hidràulica i eòlica, respectivament (Fenhann, 2009). L'esbiada distribució geogràfica dels projectes i la

11. El nombre i tipus oficial de projectes MDN, així com la interconnexió del registre MDN amb el CITL i l'ITL es pot consultar a les següents adreces electròniques: <http://cdm.unfccc.int/Projects/index.html>, i a <http://cdm.unfccc.int/Registry/index.html>.

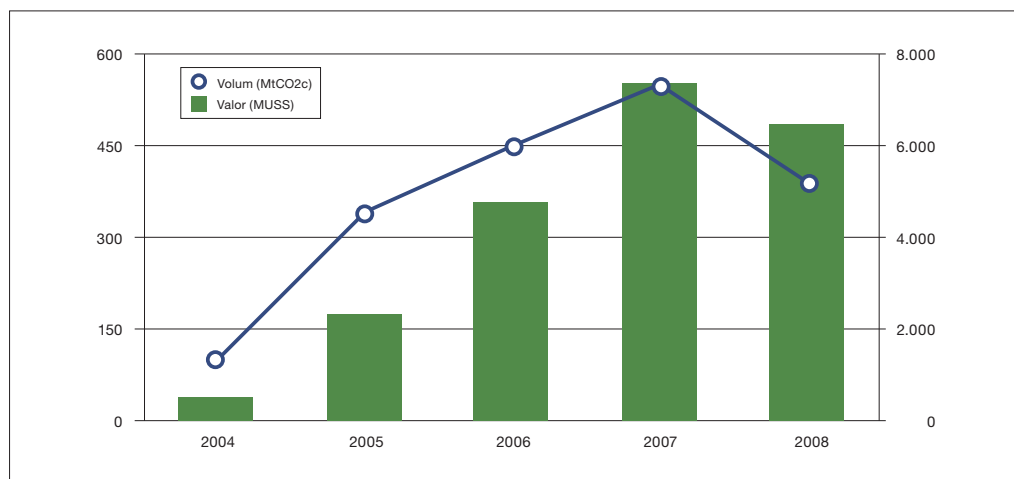


Figura 4. Evolució de transaccions primàries de l'MDN 2004-2008.

Font: elaboració pròpia a partir Capoor i Ambrosi (2006, 2007, 2008 i 2009).

insignificant aportació de projectes d'eficiència energètica en els sectors residencial, d'energia solar o de reforestació han estat qüestions força crítiques, ja que reflecteixen que l'MDN ha estat principalment un instrument per reduir emissions més que no pas per promoure el desenvolupament sostenible (Ellis *et al.*, 2007; Boyd *et al.*, 2009).

Fins al desembre de 2008 s'havien comercialitzat un total de 1.829 milions de tones de CO_{2e} mitjançant transaccions primàries,¹² per un valor de 15.022 M€ i amb un valor mitjà d'uns 11 € per CER (Capoor i Ambrosi, 2009) (figura 4). Darrerament, la quantitat i el valor dels CER comercialitzats l'any 2009 es van veure reduïts per l'efecte de la crisi econòmica global, que ha dificultat l'accés a préstecs financers per al desenvolupament de projectes.

A més, la incertesa sobre el futur del PK¹³ també va generar que es presentessin a validació un menor nombre de projectes, ja que els seus responsables desconeixen si podran seguir venent CER després de l'any 2012 (World Bank, 2009).

Pel que fa a les transaccions secundàries de CER, s'observa un fort creixement els darrers dos anys (2007-2008) (figura 5). Fins al desembre de 2008 s'havien comercialitzat uns 1.347 milions de tones de CO_{2e}, per un valor de 22.456 M€. A diferència de la relativa estabilitat del preu del CER durant l'any 2007, els CER van veure davallar el seu preu durant l'any 2008 a causa de la seva relació amb el mercat europeu d'emissions. Aquest últim, tal com s'ha comentat en la secció 15.2.1.1.4, va veure com un EUA es comercialitzava a quasi 30 € durant l'estiu de 2008 i després baixava a menys de 8 € a principi de l'any 2009, motivat principalment per la venda massiva d'EUA per empreses que cercaven formes d'obtenir capital a curt termini durant la crisi econòmica (World Bank, 2009).

12. L'MDN està dividit en dos segments, un mercat primari que comercialitza CER i un mercat secundari que comercialitza CER garantits (sCER). El mercat primari està constituït per CER que provenen de la venda directa dels gestors del projecte als corresponents compradors, i tan bon punt els CER estan certificats per la Junta Executiva de l'MDN. En la generació de CER, els gestors de projecte i els inversors comparteixen riscos d'implementació i posterior verificació, segons l'establert en el contracte del projecte, conegut com ERPA. El mercat secundari, en canvi, comercialitza CER que o bé estan assegurats per un banc o un fons, o bé CER que ja han estat certificats i que són comercialitzats pels mateixos gestors del projecte o els compradors corresponents (Corbera *et al.*, 2009).

13. Per tal de complir els objectius del primer període del PK, l'Estat espanyol considera que caldrà l'adquisició de 150 milions de tones de CO_{2e} mitjançant projectes d'AC i de l'MDN. Amb aquesta finalitat, el Govern espanyol ha constituït o bé participa en un conjunt de fons per a l'adquisició de CER o ERU.

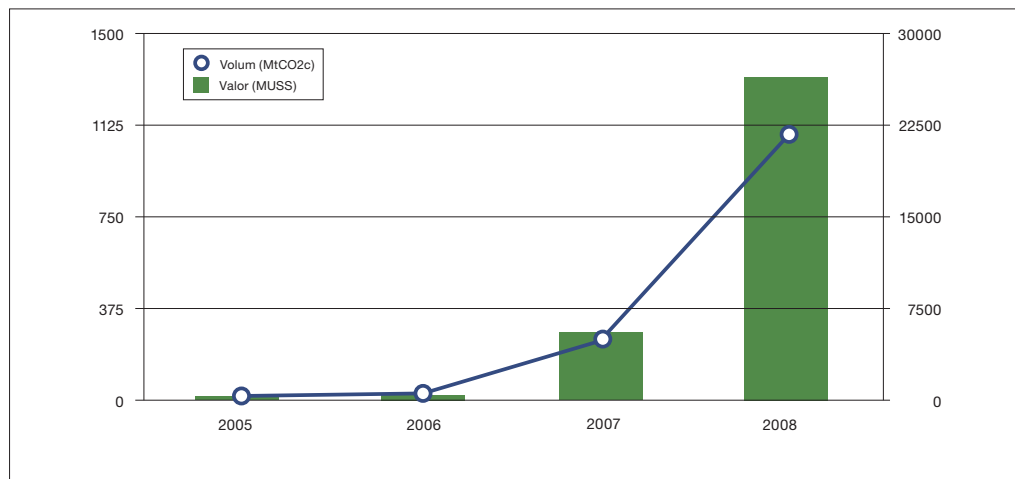


Figura 5. Evolució del volum i el valor de les transaccions secundàries de CER, 2005-2008.

Font: elaboració pròpia a partir de Capoor i Ambrosi (2006, 2007, 2008 i 2009).

Fons Espanyol de Carboni (FEC)

Aquest fons va ser creat l'any 2006 i està participat pel Govern de l'Estat (170 M€) i dotze empreses espanyoles (50 M€), que inclouen, entre d'altres, Abengoa, Azuliber, Gas Natural-Unión Fenosa, Endesa, Repsol i Enel. El fons és gestionat pel Banc Mundial i s'ha concentrat fins ara en el desenvolupament de projectes MDN a l'Amèrica Llatina, Nord d'Àfrica i Àsia, principalment en projectes d'energies renovables, eficiència energètica, captura de gasos en abocadors i hidrofluorocarbons, amb l'objectiu d'obtenir uns 44 milions de tones de CO₂eq. fins a l'any 2015.

Iniciativa Iberoamericana de Carboni (IIC)

És un fons de 47 M€ participat únicament pel Govern espanyol i gestionat per la Corporación Andina de Fomento, que té per objectiu obtenir 9 milions de tones de CO₂ mitjançant projectes a l'Amèrica Llatina fins a l'any 2012.

Fons Multilateral de Crèdits de Carboni (FMCC)

Aquest fons, establert el desembre 2006 i gestionat pel Banc Europe de Reconstrucció i Desenvolupament (BERD) i el Banc Europeu d'Inversions (BEI), està participat per diferents governs de països de l'annex B i per empreses privades, i va rebre una aportació inicial de 165 M€. El govern espanyol n'és el principal contribuent, amb una aportació inicial de 35 M€ (23,3% del capital inicial) i una segona aportació de 25 M€. Les empreses espanyoles participants inclouen Abengoa, Endesa i Gas Natural-Unión Fenosa.

Fons de Carboni per al Desenvolupament de les Comunitats (CDCF)

És un fons gestionat pel Banc Mundial, al qual el Govern espanyol ha aportat 14 M€ (14,6% del capital) i en el qual també participen empreses privades com Endesa, Gas Natural-Unión Fenosa i també Hidroeléctrica del Cantàbrico. A diferència dels fons anterior, el CDCF destina recursos a projectes de petita escala situats en àrees rurals dels països més pobres i vulnerables, principalment a l'Àfrica.

Fons de Biocarboni (BioCF)

Fons gestionat pel Banc Mundial al qual el Govern espanyol ha aportat fins ara 12,8 M€ i també hi ha participat l'empresa Abengoa. El BioCF s'ha concentrat en el desenvolupament de projectes forestals MDN i només recentment ha començat a invertir en projectes de desforestació evitada (no elegibles en l'MDN, però possiblement acceptats en un acord post-2012).

Fons de Carboni Àsia-Pacífic (APCF)

Fons gestionat pel Banc Asiàtic de Desenvolupament que s'especialitza en projectes d'energies renovables i eficiència energètica a la regió asiàtica i al qual el Govern espanyol ha aportat un total de 21 M€ (19,7% del capital).

Taula 6. Principals fons de carboni en els quals participa l'Estat espanyol.

Font: elaboració pròpia.

Compradors	Tipus d'organització	Nombre de projectes MDN en què participen com a únics o principals compradors
Govern de l'Estat espanyol (mitjançant diversos fons multilaterals de carboni)*	Sector públic/privat segons tipus de fons	47
Endesa	Sector energètic	32
Gas Natural SDG - Unión Fenosa**	Sector energètic	12
CEMEX	Sector del ciment	4
Abengoa (Zero Emissions Technologies)	Sector tecnològic i energètic	3
Proactiva Medio Ambiente	Sector residus i gestió de l'aigua	3
Acciona	Sector energètic	2
CO ₂ Global Solutions	Sector consultoria energètica i CO ₂	2
FC2E (Fons de Carboni per a l'Empresa Espanyola)	Sector financer CO ₂	2
Iberdrola	Sector energètic	2
Ciments Molins-Uniland**	Sector del ciment	2
Gamesa	Sector eòlic	2
Repsol	Sector energètic	1

* Alguns d'aquests fons estan també participats per algunes de les empreses presents a la taula, a més d'altres (per exemple Hidroeléctrica del Cantábrico).

** Empreses amb seu social a Catalunya.

Taula 7. Principals compradors de CER a l'Estat espanyol (desembre de 2009).
Font: elaboració pròpia a partir de MMA (2009b; 2009c).

L'AND del Govern espanyol ja ha aprovat 119 projectes de l'MDN (MMA, 2009), si bé el nombre de projectes registrats és de 66 (desembre de 2009). Espanya és el setè país de l'annex B en nombre de projectes registrats, darrere del Regne Unit, Suïssa, el Japó, Holanda, Suècia i Alemanya. Segons el Ministerio de Medio Ambiente, els 119 projectes representaran una reducció aproximada de 142 milions de tones de CO₂ eq. fins a l'any 2012. Els principals inversors i compradors de CER en aquests projectes són el mateix Govern espanyol mitjançant diversos fons multilaterals de carboni (taula 6), Endesa i Gas Natural-Unión Fenosa. Aquesta última empresa, juntament amb Ciments Molins i Uniland són les úniques tres empreses amb seu social a Catalunya que han invertit significativament en projectes de l'MDN (taula 7). Els principals tipus de projectes finançats inclouen, per ordre d'importància, projectes hidroelèctrics (31), eòlics (20), de recuperació de gasos en abocadors (9) i de substitució de combustibles en la producció d'energia (4). Pel que fa a la distribució geogràfica, un 48% dels projectes es troben a l'Àsia, principalment a la Xina i l'Índia, i un 42% a l'Amèrica Llatina, principalment a Mèxic, Brasil i Argen-

tina. Tan sols un 5% dels projectes es desenvolupen a l'Àfrica, tot contribuint a la distribució geogràfica desigual esmentada anteriorment.

15.2.2.3. Projectes voluntaris de reducció d'emissions

En paral·lel als mercats de drets d'emissions vinculats al PK, els darrers anys també ha aparegut un mercat que promou projectes voluntaris de reducció d'emissions. La filosofia d'aquests projectes és la mateixa que la dels projectes d'AC o MDN, és a dir, reduir les emissions per sota d'una línia base i comercialitzar les reduccions corresponents. En contrast amb els mecanismes de projecte regulats, però, els projectes voluntaris es desenvolupen en un marc normatiu més lax i, per tant, no compleixen tots els requisits de l'MDN o de l'AC. Per exemple, els projectes voluntaris de reducció d'emissions rarament se sotmeten a una validació independent del seu procés de definició o a una verificació externa de les seves reduccions, si bé quan això últim succeeix generen el que es coneix com a reduccions d'emissions verificades (VER, pel seu acrònim en anglès). Que no operin dins d'un marc regulat els converteix en projectes operacionalment més

flexibles, amb menors costos de transacció, i que de vegades promouen tecnologies o activitats que no serien elegibles en el marc de l'AC o l'MDN.

Arran d'aquesta hipotètica manca de regulació independent, els darrers anys s'han desenvolupat un conjunt d'estàndards i de registres que tenen per objectiu assegurar la qualitat en el definició i implementació dels projectes de reducció d'emissions, tant regulats com voluntaris. La taula 8 descriu les principals característiques dels quatre estàndards més reconeguts i de més renom. Per exemple, el *Gold Standard* només el poden obtenir projectes que promoguin l'eficiència energètica i les energies renovables, mentre que el *Voluntary Carbon Standard* (VCS) considera una tipologia més àmplia però inclou únicament iniciatives en l'àmbit voluntari. Les reduccions d'emissions estandarditzades pel VCS es coneixen amb el nom de *Voluntary Carbon Units* (VCU) i també equivalen a una tona de CO₂ eq., com en el cas dels VER. Finalment, el *Climate, Community and Biodiversity Standard* (CCBA, 2008) inclou projectes forestals tant regulats com voluntaris. Aquests estàndards han sorgit per millorar la qualitat dels projectes de reducció d'emissions, però especialment per reforçar la seva credibilitat i garantir-ne la funcionalitat, que sovint ha estat qüestionada (Gillenwater *et al.*, 2007). Malgrat això, encara és aviat per determinar si els projectes estandarditzats resulten més efectius en la reducció d'emissions i la promoció del desenvolupament sostenible que d'altres projectes que no s'hagin adherit a cap estàndard (Kollmuss *et al.*, 2008).

Fins avui, els principals interessats en comprar VER han estat organitzacions no afectades per cap marc legislatiu de comerç d'emissions i que han volgut esperar el desenvolupament de projectes de reducció d'emissions, sobretot en països en desenvolupament i, en alguns casos, dins del seu país. Aquestes organitzacions aprofiten aquests projectes per enfortir la seva responsabilitat ambiental corporativa i, en alguns casos, per complementar processos i programes de reducció d'emissions amb l'objectiu d'assolir la neutralitat en emissions (vegeu secció 15.2.2.4).

És difícil calcular el nombre de projectes voluntaris de reducció d'emissions, perquè a diferència de l'MDN, no hi ha un registre públic i

centralitzat d'aquests projectes. Mitjançant dades obtingudes de diferents fonts bibliogràfiques, s'ha desenvolupat la figura 7, on s'observa el creixement quasi exponencial del mercat de projectes voluntaris, especialment entre els anys 2006 i 2007. Cal remarcar que l'any 2004 es van reduir un total de 2,92 milions de tones de CO₂e mitjançant projectes voluntaris, mentre que l'any 2008 se'n van reduir uns 54 milions, per un valor hipotètic de 275 M€. A diferència de l'MDN en què la majoria dels CER generats s'acaben retirant del mercat per complir els compromisos del PK, al mercat voluntari és possible que les reduccions generades (VER, VCU o d'altres) no s'acabin retirant perquè no existeixin compradors. Segons Hamilton *et al.* (2009), per exemple, només un 23% de les reduccions d'emissions generades al mercat voluntari l'any 2008 van ser retirades, és a dir, van ser adquirides pel consumidor final.

La tipologia dels projectes voluntaris és semblant a la dels projectes de l'MDN. Amb l'excepció dels projectes forestals, que reben molt més suport al mercat voluntari, la resta fomenten les mateixes tecnologies o activitats que l'MDN, com ara projectes hidroelèctrics, eòlics, de captura de gasos en abocadors, i de substitució de combustibles en la producció d'energia (Corbera *et al.*, 2009a). Pel que fa a la seva ubicació geogràfica, els resultats difereixen de l'MDN, particularment arran de l'important paper que empreses dels Estats Units assumeixen en la promoció i el finançament d'aquests projectes. Així, un 28% dels projectes estan situats als Estats Units, mentre que la resta es localitzen a l'Àsia (45%), al Pròxim Orient (15%) i, sorprenentment, gairebé no hi són presents l'Amèrica Llatina (4%) ni l'Àfrica (1%). Segons la tipologia, la localització i el nivell d'estandardització del projecte, els preus dels VER, VCU o d'altres tipus de crèdits voluntaris va oscil·lar l'any 2008 entre els 33 i 1,2 € (Hamilton *et al.*, 2009). Els compradors de crèdits voluntaris són, majoritàriament, empreses europees i dels Estats Units, i inclouen importants grups bancaris, de l'automoció, els transports, la comunicació i del sector serveis (Ecosecurities, 2009).

A Catalunya hi ha empreses i entitats sense ànim de lucre que, entre altres serveis, desenvolupen projectes i/o comercialitzen reduccions d'emissions. Entre els projectes seleccionats per

Nom	Descripció	Metodologies i tipologia de projectes	Verificació i registre	Projectes	Crèdits registrats i comercialitzats (desembre de 2009)
The Gold Standard	Certificació i registre de projectes de reducció d'emissions i dels corresponents crèdits (CER, ERU) o VER	Metodologies MDN i només per a projectes d'eficiència energètica i energies renovables	Verificació de projectes per part d'Informes de verificació i sistema de registre dels crèdits disponibles electrònicament	126 projectes MDN. 136 projectes en el mercat voluntari	162.892 tCO ₂ e (CER) 669.669 tCO ₂ e (VER)
Voluntary Carbon Standard	Certificació i registre de projectes voluntaris i les corresponents reduccions d'emissions. Els projectes generen Unitats de Carboni Voluntàries (VCU), que són equivalents als VER	Metodologies MDN per a qualsevol tipus de projecte i metodologies específiques per a projectes d'agricultura, reforestació i gestió/conservació forestal	Verificació per part d'EOD i altres organitzacions reconegudes pel VCS. Informes de verificació i sistema de registre dels crèdits disponibles electrònicament	217 projectes voluntaris	832.395 tCO ₂ e (VCU)
Climate, Community and Biodiversity (CCB) Standard	Certificació de projectes MDN o voluntaris de reducció d'emissions en el sector forestal que adoptin bones pràctiques i promoguin els beneficis socials i la conservació de la biodiversitat	Metodologies MDN (reforestació) i específiques per desenvolupar projectes de conservació, restauració forestal i silvicultura	No promou la verificació i registre de crèdits, sinó que encoratja a l'adopció de bones pràctiques en la definició de projectes forestals. Encoratja els projectes perquè es registrin en altres estàndards, com el VCS	15 projectes (fins ara tots voluntaris, si bé alguns de l'MDN es troben en validació)	Informació no disponible

Taula 8. Característiques dels principals estàndards per a projectes de reducció d'emissions.
Font: elaboració a partir de les següents pàgines web: <http://www.cdmgoldstandard.org/>; <http://www.v-c-s.org/>; i <http://www.climate-standards.org/index.html>.

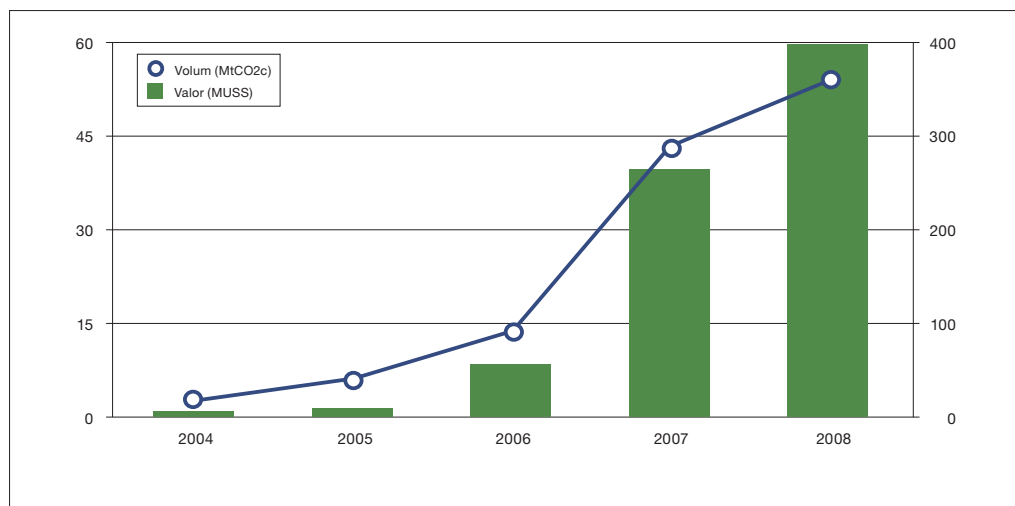


Figura 6. Evolució de transaccions de projectes voluntaris, 2004-2008.

Font: elaboració pròpia a partir d'ICF, 2008; World Bank, 2007; 2009 i Hamilton et al., 2009.

aquestes empreses destaquen, per exemple, minicentrals hidràuliques a Indonèsia i Hondures, un parc eòlic a l'Índia i projectes de segrest de CO₂ i conservació d'embornals a Mèxic, Brasil, Madagascar i a l'Estat espanyol. Pel que fa als compradors de reduccions voluntàries, en destaquen administracions públiques, com la Generalitat de Catalunya, l'Entitat Metropolitana del Medi Ambient, la Diputació de Barcelona i alguns ajuntaments, així com empreses del sector del transport, l'automoció, les assegurances o la publicitat. Cal dir, però, que el mercat voluntari és encara un mercat incipient, la maduració del qual dependrà de les estratègies de sostenibilitat de les empreses, però també en gran mesura de l'abast i l'exigència dels programes de reducció d'emissions en els sectors difusos. Per exemple, en un estudi que va obtenir dades sobre emissions i estratègies de mitigació per 36 de les 85 empreses espanyoles amb més capitalització borsària, que alhora inclouen 14 regulades per la Llei 1/2005, s'indica que tan sols una entitat bancària va comprar VER fins al 2008 i que les empreses regulades van optar per la compra de CER. A més, entre les 36 empreses que van aportar dades, només 22 tenien plans de reducció d'emissions (Ecologia y Desarrollo, 2009).

Finalment, cal esmentar que alguns esdeveniments que han tingut lloc a Catalunya els darrers anys, com poden ser jornades, convencions o cicles de conferències, han optat per compensar les emissions generades pel desplaçament dels seus participants i, en alguns casos, pel consum d'electricitat i la gestió dels residus atribuïbles a l'esdeveniment, mitjançant la compra de VER o d'altres crèdits de reducció d'emissions. Un exemple rellevant en aquest sentit, si bé es va optar per participar en el mercat regulat europeu i no en projectes voluntaris, va ser la retirada de 54 tones d'EUA per part de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC) amb l'objectiu de compensar les emissions dels participants a la Convenció Catalana del Canvi Climàtic i dels assistents de la delegació catalana a la tretzena Conferència de les Parts (COP-13) de la CMNUCC l'any 2007.

15.2.2.4. La «neutralitat en emissions»

La participació activa en els mercats de reducció d'emissions mitjançant la compravenda d'EUA, ERU, CER o VER hauria de complementar un compromís institucional i empresarial més ferm i responsable davant del canvi climàtic basat en el principi de la «neutralitat en emissions». Aquest és l'estat en el qual les emissions netes de GEH d'una persona, organització, producte, servei, pro-

cés o esdeveniment són iguals a zero, mitjançant una combinació de mesures de reducció d'emissions internes i directes, i mesures de compensació d'emissions externes i indirectes (The Carbon Neutral Company, 2009). La «neutralitat en emissions» es fonamenta en tres estadis d'anàlisi i acció:

1. La comptabilitat de les emissions de CO₂ eq. generades per la persona, organització, producte, servei, procés o esdeveniment, també coneguda com «petjada de carboni».
2. L'establiment de mesures per a la reducció efectiva d'aquestes emissions, planificades temporalment per assolir-les de forma realista i efectiva.
3. La compra de drets o reduccions d'emissions en els mercats regulats o voluntaris per compensar les emissions romanents que no poden ser evitades.

La «neutralitat en emissions» és, doncs, un procés de millora continua, durant el qual i progressivament s'han de desenvolupar accions d'eficiència energètica cada vegada més efectives que redueixin, almenys relativament, les emissions romanents que cal compensar. Per exemple, si bé una empresa podria comptabilitzar les emissions associades a la producció d'un determinat producte, dur a terme una millora de l'eficiència energètica d'alguna de les fases de producció i compensar les emissions romanents, l'ideal seria que l'empresa fes un esforç per reduir de manera cada vegada més significativa les emissions associades a la seva activitat i als seus productes i/o serveis.

Segons el nivell de compromís vers la «neutralitat en emissions», es distingeixen tres nivells d'anàlisi de la «petjada de carboni», que es caracteritzen també per una complexitat creixent. En el cas d'una organització, es definirien de la manera següent:

- Nivell 1: emissions directes que controla l'organització, com per exemple les que resulten de la combustió de calderes per calefacció o per produir aigua calenta dins de les seves instal·lacions, així com de les emissions derivades d'alguns dels seus processos productius (per exemple, del metà derivat de processos de degradació biològica o de l'òxid de nitrogen derivat de l'ús de fertilitzants).

- Nivell 2: emissions indirectes derivades de l'ús d'electricitat, que estan determinades per les emissions generades en la producció d'energia elèctrica per l'empresa proveïdora.
- Nivell 3: emissions indirectes dels productes i serveis que demana una organització i de les quals és indirectament responsable, com ara les emissions associades al cicle de vida dels productes i a la cadena de proveïdors i/o de serveis que utilitza l'organització.

Disponibles públicament, existeixen diverses metodologies per realitzar càlculs de la «petjada de carboni» a aquests tres nivells, entre les quals destaquen: el *Greenhouse Gas Protocol*, produït pel World Resources Institute i el World Business Council for Sustainable Development; l'estàndard ISO14064 de l'Organització Internacional de l'Estandardització (ISO), i la metodologia Publicly Available Specification 2050, desenvolupada pel Govern del Regne Unit i el Carbon Trust, que únicament serveix per calcular les emissions vinculades a productes i serveis. A Catalunya, l'OCCC ha impulsat una *Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle*,¹⁴ amb l'objectiu d'oferir un marc de referència per al càlcul de les emissions de Nivell 1 a aquelles empreses que vulguin adherir-se als Acords voluntaris de reducció d'emissions que la mateixa OCCC impulsarà l'any 2010 en el marc del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 (vegeu secció 15.3.1 i taula 9).

Val a dir que la majoria d'organitzacions que fins ara han volgut assumir la «neutralitat en emissions», ho han fet elaborant les seves pròpies estratègies de càlcul, sovint concebudes i validades per empreses independents. Aquestes empreses, a més del càlcul de la «petjada de carboni», també defineixen els plans i estratègies de reducció d'emissions, el calendari de seguiment del compliment d'objectius de reducció i, en alguns casos, identifiquen i executen opcions de compensació de les emissions romanents mitjançant els mercats regulats o voluntaris. Alhora, algunes empreses també ofereixen als seus clients

14. Es pot consultar a l'adreça www20.gencat.cat/docs/Sala%20de%20Premsa/Documents/mArxiu/mah_premsa_notaPremsa.50.41245926343668.pdf.

un segell o certificació com a reconeixement de l'adopció d'aquestes mesures.

Comparat amb altres països de la UE, com el Regne Unit o Alemanya, el nombre d'empreses catalanes i de l'Estat espanyol que, de manera voluntària, han adoptat un compromís ferm i sostenible en el temps vers la «neutralitat en emissions» encara és molt reduït o gairebé inexistent. En l'àmbit de l'Administració, cal destacar la iniciativa del Departament de la Vicepresidència de la Generalitat (DVP), que ha posat en marxa un procés per esdevenir «neutre en emissions», liderat pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS).¹⁵ Aquest s'emmarca dins del Pla de sostenibilitat de la Vicepresidència 2008-2010 i s'estructura en tres fases: el càlcul de les emissions de Nivell 1 del DVP, seguint la metodologia desenvolupada per l'OCCC; la reducció de les emissions seguint un conjunt de bones pràctiques ambientals i complint criteris d'eficiència energètica i, finalment, la compensació de les emissions romanents mitjançant la compra de CER o VCU provinents de projectes adherits al *Gold Standard* o al *Voluntary Carbon Standard*.

15.3. Instruments de mitigació del canvi climàtic no vinculats al comerç d'emissions

A Catalunya, el Govern de la Generalitat es va dotar l'any 2006 de dues institucions clau per fer front al canvi climàtic: la Comissió Interdepartamental del Canvi Climàtic (CICC) i l'OCCC. La CICC havia estat creada però inoperativa des de l'any 2003 (Decret 198/2003) i està integrada per un representant de cadascun dels departaments de la Generalitat amb possible incidència sobre les polítiques de canvi climàtic. La Comissió coordina les actuacions dutes a terme per tots els departaments en aquest àmbit, sobretot aquelles impulsades pel Departament de Medi Ambient i Habitatge (DMAH) i pel Departament d'Economia i Finances (DEF) mitjançant l'Institut Català d'Energia (ICAEN). Per la seva banda, l'OCCC (Decret 573/2006) dona suport tècnic a la CICC i vetlla pel desenvolupament de mesures de

mitigació i adaptació al canvi climàtic. Particularment, és responsable de fer un seguiment de les emissions dels sectors de la Directiva 2003/87/CE i dels sectors difusos, i del desplegament operatiu i executiu del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 (Generalitat de Catalunya, 2008) que, com es veurà a continuació, constitueix un dels eixos vertebradors per a la reducció d'emissions, juntament amb el *Pla de l'energia 2006-2015* (Generalitat de Catalunya, 2006).

Catalunya disposa de nombrosos instruments de planificació, econòmics i normatius per fer front directament o indirecta al canvi climàtic, i que alhora complementen i/o desenvolupen els instruments impulsats des de la UE i l'Estat espanyol. Tenint en compte que els límits conceptuals entre aquests tipus d'instruments són difícils d'establir i sovint no estan clars, aquest capítol considera com a instrument de planificació qualsevol document marc de gestió desenvolupat per l'Administració i que inclogui, entre els seus objectius, la reducció de les emissions de GEH. D'altra banda, es considera com a instrument econòmic, qualsevol mecanisme que persegueixi assolir una reducció en les emissions corresponents de determinats agents socials mitjançant penalitzacions, incentius o informació. Tant els instruments de planificació com els de caràcter econòmic acostumen a tenir el suport d'un marc legislatiu i d'una sèrie de disposicions legislatives, que es troben més desenvolupades en un altre capítol d'aquest informe (Pont, 2010).

15.3.1. Instruments de planificació

15.3.1.1. Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012

El Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 va ser aprovat l'octubre de 2008 amb l'objectiu de reduir el creixement de les emissions dels sectors difusos a Catalunya. Per tal de complir el PNA aprovat per la UE i l'Estat espanyol, el Pla considera que l'emissió total dels sectors difusos a Catalunya no hauria de superar els 36,55 milions de tones de CO₂ eq. anuals durant el període 2008-2012. Això suposa, assumint una projecció de creixement de les emissions difuses del 2% durant aquest pe-

15. Es pot consultar a l'adreça www15.gencat.net/cads/AppPHP/index.php?option=com_content&task=view&id=595&Itemid=139.

riode, assolir una reducció de 5,33 milions de tones de mitjana anual durant aquests cinc anys.

El Pla és fruit de la Convenció Catalana del Canvi Climàtic,¹⁶ un procés participatiu (juliol de 2007-febrer de 2008) que va permetre a la societat civil catalana identificar, suggerir, discutir i prioritzar un conjunt d'accions per a la mitigació de les emissions dels sectors difusos. En total es van recollir 974 propostes, que van sorgir dels grups de treball de la Convenció, de debats ciutadans, així com d'aportacions directes mitjançant la web de la Convenció. Entre les propostes recollides, la gran majoria (72%) eren accions de possible aplicació abans del 2012 i un 14% eren aplicables a partir d'aquesta data. Un 3% de les propostes eren en l'àmbit de l'adaptació. Pel que fa al tipus de sectors, la majoria de propostes consistien a reduir les emissions derivades del transport i la mobilitat (30%), l'energia (13%), els edificis (13%) i a promoure la sensibilització ciutadana (18%). Totes aquestes mesures van ser considerades, totalment o parcial, en l'elaboració del Pla, si bé moltes no hi tingueren cabuda i d'altres seran considerades en el futur per a l'elaboració del Pla marc de mitigació 2013-2020 (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008a). Cal emfatitzar que moltes de les mesures proposades ja estaven incloses en altres plans que no tenen el canvi climàtic com a eix principal i que formen part de l'optimització de plans i programes sectorials, com el Pla de l'energia (vegeu secció 15.3.1.2), el Pla d'infraestructures del transport, o els programes de gestió de residus municipals i industrials, entre d'altres.

El Pla de mitigació s'estructura en tres objectius estratègics o programes d'acció transversal, que alhora se subdivideixen en subprogrames i accions (taula 9). El primer objectiu/programa consisteix a reduir les emissions dels sectors difusos mitjançant mesures d'inversió i de suport tècnic i financer, entre d'altres, per part de les administracions públiques i del sector privat. El segon promou l'adopció de mesures d'eficiència energètica i una participació més activa dels sec-

tors regulats per la Llei 1/2005 als mercats d'emissions. Finalment, el tercer promou accions transversals orientades a sensibilitzar i formar la societat civil sobre el canvi climàtic.

El desplegament del Pla i de totes les seves accions és una tasca complexa en la qual participen un gran nombre d'entitats privades i públiques, així com diferents departaments del Govern i l'Administració. Per exemple, el desplegament del subprograma referent a la reducció de les emissions al sector agrari depèn de l'impuls del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (DAR), del DEF, i del suport de les empreses, cooperatives i productors dels sectors agrícoles i ramaders afectats, mentre que el desplegament del subprograma referent a la reducció de les emissions industrials no sotmeses a la Directiva 2003/87/CE depèn de l'impuls del DEF, del Departament d'Innovació, Universitats i Empresa (DIUE) i de les cambres de comerç i de la indústria. Un bon nombre de subprogrames, ja han disposat o disposen actualment d'ajuts per al desplegament d'accions concretes (vegeu secció 15.3.2.2).

La complexitat, i les possibles ineficiències a l'hora de desplegar el Pla, han dut l'OCCC a avaluar-ne els primers dos anys d'implementació per tal d'identificar el grau d'aplicació de les diverses accions proposades, llur efectivitat i les possibles deficiències (OCCC, 2009). S'ha assenyalat que s'està produint un desacoblament progressiu del creixement de la població amb el creixement de les emissions, així com un descens de la ràtio d'intensitat energètica. Més del 85% de les 180 actuacions adoptades pel Pla s'estan desenvolupant, de les quals un 78% han superat la fase inicial i un 44% tenen un progrés avançat i, per tant, ja estan reduint les emissions d'una manera efectiva. Durant el 2008, es van completar 63 actuacions, 30 de les quals pertanyien al programa de reducció de les emissions del sector difús. També destaca la necessitat de crear una comissió tècnica per fer un seguiment del Pla, en la qual participin representants tècnics dels diversos departaments del Govern, així com per desenvolupar criteris i metodologies que permetin quantificar rigorosament les reduccions d'emissions amb cada actuació. Així mateix, l'esborrany emfatitza que tots els plans d'estímul

16. Tota la informació sobre la Convenció es pot consultar a l'adreça http://mediambient.gencat.cat/cat/el_medio/C_climatic/occc/html/index_occc.html.

P	Reducció d'emissions en els sectors difusos			
SP	Reducció d'emissions al sector agrari (0.259 Mt CO ₂ e/any)		Reducció d'emissions en la construcció i l'ús de l'habitatge (0.447 Mt CO ₂ e/any)	Reducció d'emissions al sector serveis (0.314 Mt CO ₂ e/any)
A	Increment de la biodigestió anaeròbia dels purins i aprofitament del biogàs Aprofitament dels residus de la biomassa agrícola Eficiència energètica en el sector agrari i ramader	Vers la millora del comportament energètic dels edificis d'habitatges Vers la introducció d'equips eficients de climatització Vers la introducció d'aparells domèstics eficients Vers el manteniment dels habitatges/instal·lacions Vers la promoció d'un ús intel·ligent de l'energia a la llar		Vers la millora del comportament energètic dels edificis de serveis Vers la introducció d'equips eficients de climatització i enllumenat Vers la introducció d'equips especialitzats energètica ment eficients Vers el manteniment d'edificis i les seves instal·lacions Vers un ús intel·ligent dels recursos tecnològics
SP	Reducció d'emissions a la indústria no sotmesa a la Directiva (1,16 Mt CO ₂ e/any)	Reducció d'emissions per la prevenció i el tractament de residus (0,325 Mt CO ₂ e/any)		Reducció d'emissions al transport i la mobilitat (1,86 Mt CO ₂ e/any)
A	Vers la millora del comportament energètic i la reducció d'emissions del sector industrial	Prevenció de la generació de residus Transport més eficient, tractament més eficient (metanització de la matèria orgànica i aprofitament del biogàs als abocadors)		La diversificació energètica del sector i la millora de l'eficiència energètica del parc de vehicles Mobilitat sostenible i transport públic
SP	Acords voluntaris i experiències pilot de Domestic Offset climàtic (0,97 Mt CO ₂ e/any)		Projects per a la mitigació del canvi	
A	Creació d'un registre d'empreses adherides al programa d'acords voluntaris Impuls i suport a l'establiment d'acords voluntaris de mitigació Experiències pilot de Domestic Offset Projects		Desplegament complet del Reglament (CE) núm. 842/2006, sobre els gasos fluorats	
P	Suport a les instal·lacions cobertes per la Directiva 2003/87/EC			
SP	Reducció interna de les emissions de gasos d'efecte hivernacle			
A	Suport i ajut a la millora dels processos productius Impuls de l'ús progressiu de combustibles alternatius Estalvi d'energia elèctrica Reducció d'emissions en el sector energètic			Utilització dels mecanismes de flexibilitat Foment de la participació dels mecanismes de flexibilitat
P	Accions transversals per a la mitigació			
SP	Impuls de la recerca en l'àmbit del clima, de l'acció per a la mitigació i de l'avaluació	Sensibilització, educació ambiental i participació		Exemplificació de l'Administració
A	Investigació sobre el clima Impuls de la investigació sobre l'acció per a la mitigació del canvi climàtic	Sensibilització i difusió del coneixement sobre el canvi climàtic Creació dels mecanismes de concertació i participació El canvi climàtic a les escoles i les universitats		Eficiència energètica als edificis de la Generalitat de Catalunya Ambientalització de la contractació pública de la Generalitat de Catalunya Reducció d'emissions mitjançant la prevenció de la contaminació il·luminosa
SP	Suport a les accions d'exemplificació i de difusió de les administracions locals		Suport al consum sostenible	
A	Suport a la reducció d'emissions al món local Reducció d'emissions al món local per reducció de consums energètics		Introducció de criteris de canvi climàtic amb el Distintiu de Qualitat Ambiental Promoció d'una ecoetiqueta de canvi climàtic Estudi dels inventaris de canvi climàtic des de l'òptica del consum final Programes de cooperació en canvi climàtic	

Taula 9. Programes (P), Subprogrames (SP) i Accions (A) del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012. Font: Oficina catalana del canvi climàtic, 2008, p. 42-44.

econòmic i noves polítiques posades en marxa pel Govern haurien de tenir en compte les variables climàtiques. Desafortunadament, l'avaluació no assenyalava encara els valors totals o potencials d'emissions reduïdes assolit pels subprogrames i les accions desplegades i, per tant, es desconeix amb exactitud el grau de compliment dels objectius de mitigació establerts.

15.3.1.2. Pla de l'energia 2006-2015

El *Pla de l'energia 2006-2015* (Generalitat de Catalunya, 2006) va ser aprovat per Acord de Govern l'octubre de 2005, i ha estat recentment revisat i actualitzat (Generalitat de Catalunya, 2009). Es pot considerar un instrument de planificació directament vinculat al canvi climàtic en tant que el sector energètic, incloent-hi totes les activitats d'extracció, producció, transport i ús final, és la font més important d'emissions de GEH, originades pel consum de combustibles fòssils, per les mines de carbó i per les instal·lacions de transformació d'hidrocarburs i de gas (Generalitat de Catalunya, 2006). Té cinc eixos estratègics: 1) fomentar l'estalvi i l'eficiència energètica; 2) impulsar les fonts energètiques renovables; 3) desenvolupar les infraestructures energètiques necessàries per assegurar el subministrament i diversificar les fonts d'energia; 4) donar suport a la recerca, al desenvolupament i a la innovació tecnològica en l'àmbit energètic, i 5) augmentar la consciència social i millorar el coneixement sobre la problemàtica energètica (*ibid.*, p. 8). L'elaboració del Pla respon a dos grans reptes: en primer lloc, a la necessitat de reduir la producció d'energia primària cap a fonts de producció renovables, amb l'objectiu de reduir les emissions de GEH de forma substancial i contribuir al compliment dels objectius de l'Estat espanyol en el marc del PK i, en segon lloc, a una preocupació creixent per la seguretat energètica, i pel molt probable increment del cost associat a l'obtenció de recursos energètics no renovables com el carbó, el gas i el petroli, i una demanda mundial creixent en el futur.

El Pla estableix unes previsions segons dos escenaris de futur fins a l'any 2015: l'escenari base, que representa un escenari tendencial respecte de la situació energètica de l'any 2003, i l'escenari intensiu en energies renovables (EIER), que

comporta l'aplicació d'un seguit de mesures d'eficiència energètica, la reorganització de les xarxes de distribució energètica i el foment de les energies renovables, amb una inversió estimada (privada i pública) de l'ordre de 10.000 M€. La taula 10 sintetitza els principals objectius del Pla, tant pel que fa a objectius qualitius com quantitius en els diversos eixos estratègics.

La revisió del Pla (Generalitat de Catalunya, 2009) ha permès visualitzar alguns dels resultats de la implementació del Pla original durant els primers dos anys; entre d'altres:

- El desacoblament del consum d'energia i del creixement del PIB durant el període 2005-2007, amb taxes de creixement dels consums energètics notablement inferiors a les del PIB (*ibid.*, p. 29-31).
- Una contenció en la taxa de creixement del consum d'energia primària, en augmentar un 1% anual entre els anys 2003 i 2007, en contrast amb la taxa anual propera al 4% durant el període 1995-2003, gràcies a una moderació en el consum d'energia final i una reducció relativa de l'energia nuclear en la generació d'electricitat, entre altres factors (*ibid.*, p. 32).
- Un augment en termes absoluts del consum d'energia primària renovable no hidroelèctrica, de 295,9 ktep l'any 2003 a 435 ktep l'any 2007; descompensat, però, per la reducció de la producció d'energia elèctrica d'origen hidroelèctric, que va disminuir un 40,8% a causa de les sequeres recurrents durant aquest període. Això va suposar una lleu reducció en la contribució relativa de les energies renovables al balanç energètic català, passant de representar el 3,2% del consum d'energia primària l'any 2003 al 2,8% l'any 2007 (*ibid.*, p. 34);
- Un creixement del consum d'energia final de l'ordre del 7,4% en el conjunt del període 2003-2007, equivalent a un 1,8% de mitjana anual.
- Un augment de l'aportació de les energies renovables al consum d'energia final (de 117,1 ktep l'any 2003 a 227,1 ktep l'any 2007), induït en bona part per l'increment en l'ús de biocarburants i l'ús de l'energia solar tèrmica.
- Una reducció de la intensitat energètica primària d'un 2,5% de mitjana anual en el pe-

Foment de l'estalvi i l'eficiència energètica
Multiplicar l'esforç i el lideratge de les administracions en aquests àmbits Estalviar un 10,6% de l'energia final respecte de l'escenari tendencial 2015; això significa estalviar 2.137,8 ktep anuals respecte de l'escenari tendencial, un 20,9 % de les quals serà energia elèctrica Promoció de criteris d'estalvi i eficiència energètica en altres polítiques no energètiques, com la planificació urbanística o la mobilitat Impulsar i induir comportaments i accions d'eficiència energètica, promovent normatives i disposicions per millorar l'eficiència energètica en diferents sectors Accions d'estalvi energètic específiques per a cada sector econòmic i industrial
Impuls de les fonts energètiques renovables (objectius de l'escenari IER per a l'any 2015)
Energies renovables, representant el 9,5 % del balanç d'energia primària 24 % de la generació elèctrica provinent d'energies renovables (ER) Els biocombustibles, i en particular el biodièsel, representant el 28,6 % del consum total d'ER La biomassa i el biogàs, aportant 512,1 ktep al balanç energètic i el 17,4 % del consum total d'ER Instal·lació de 3.500 MW d'energia eòlica, representant el 25,7 % del consum total d'ER Instal·lació de 100 MW d'energia solar fotovoltaica, representant un creixement del 4,400 % respecte de l'any 2005 Manteniment dels nivells d'energia hidràulica, representant el 25,7 % del total d'ER
Desenvolupament d'infraestructures energètiques per assegurar el subministrament i la diversificació de les fonts d'energia
Construcció d'entre 8 i 5 grups de cycle combinat (gas natural) i la instal·lació de 4.500 MW en centrals de règim especial (parcs eòlics, cogeneració, plantes de reducció de residus) Reforçament de la xarxa elèctrica, especialment a les comarques de Girona, incloent-hi el desenvolupament de la línia d'alta tensió França-Catalunya Diversificació i millora de la xarxa de gas natural existent, promovent la construcció d'un gasoducte de connexió amb el Nord d'Europa Planejar la construcció de centres d'emmagatzematge subterrani de gas natural líquid
Suport a la investigació i a la innovació tecnològica en l'àmbit energètic
Potenciar les línies estratègiques de Recerca i Desenvolupament en el sector energètic: Creació i millora de tecnologies per a l'estalvi i l'eficiència energètica L'acceleració en el desenvolupament de les energies renovables, l'hidrogen i la fusió nuclear La innovació tecnològica, econòmica i ambiental en la implantació i el manteniment d'infraestructures energètiques L'anàlisi sociològica de l'energia i l'efectivitat de les campanyes de racionalització del seu ús Coordinar la recerca en l'àmbit de l'energia amb les línies estratègiques espanyoles i de la UE Crear i desenvolupar el Centre de Recerca en Tecnologies Energètiques a Barcelona i el Centre d'Energia a Vandellòs Definir un marc institucional, normatiu i econòmic favorable per a la creació d'empreses tecnològiques i xarxes de coneixements

Taula 10. Principals línies estratègiques i alguns objectius del Pla de l'energia 2006-2015.

Font: elaboració pròpia a partir del Pla de l'energia 2006-2015.

ríode 2003-2007 (equivalent a un 9,5% durant el període) i de la intensitat energètica final en un 1,9% de mitjana anual (un 6,5% acumulat durant el període), un cop corregida la influència de la climatologia en el consum d'energia (*ibíd.*, p. 60).

- Les emissions de CO₂ lligades a l'energia final i emprada en la generació elèctrica van augmentar de l'ordre d'un 1,9% durant el període 2003-2007.

La revisió, com a tal, també ha permès redefinir les perspectives en eficiència i estalvi energètic i la contribució de les energies renovables al

consum d'energia final per a l'any 2015 en el marc de l'escenari IER. La revisió preveu un increment dels objectius d'estalvi en termes d'energia final per a l'any 2005, així com una reducció de la intensitat energètica, que passa d'un increment de l'1,4% anual en la versió original del Pla a un increment de l'1,62% en la revisió. Tal com mostra la taula 11, la revisió replanteja els objectius de contribució de les renovables a l'energia primària, passant d'un consum d'energia primària d'origen renovable de 2.949,3 ktep l'any 2015 en la versió original a 2.703,4 ktep per al mateix any en la revisió. Aquesta reducció total ve determinada sobretot per una reducció

dels objectius de producció de biodièsel (−437,4 ktep) i d'energia eòlica (−59,6), si bé s'incrementa l'aportació al consum final de l'energia termoelectrica (+177,3), fotovoltaica (+47,7), el bioetanol (+35,2) i la solar tèrmica (+25,7).

Amb aquestes noves projeccions, la Generalitat vol adaptar-se a la problemàtica associada a la sostenibilitat de les primeres matèries en l'àmbit del biodièsel (Ramos Martín *et al.*, 2009), i també a la normativa vigent a nivell europeu (Paquet d'Energia i Clima), de l'Estat espanyol i de Catalunya, que inclou el Reial decret 1578/2008 sobre energia solar fotovoltaica i el Decret 147/2009 pel qual es regulen els procediments administratius aplicables per al desenvolupament de parcs eòlics i instal·lacions fotovoltaïques a Catalunya, així com el Reial decret 661/2007, que millora la retribució per a les instal·lacions de producció d'energia amb biomassa. La revisió també té en compte el ràpid desenvolupament tecnològic de l'energia termoelectrica, les dificultats associades a produir una oferta suficient de biocarburants de segona i tercera generació durant els propers cinc anys i, finalment, la possible reducció en la capacitat hidràulica a causa d'una menor disponibilitat del recurs i una gestió orientada a maximitzar els cabals ecològics dels rius.

Cal assenyalar que, malgrat la reducció de l'objectiu en valors absoluts de les energies re-

novables, en termes relatius l'objectiu augmenta lleument, en passar de representar el 9,5% del consum total d'energia primària l'any 2015 a representar el 10% en aquesta revisió. Si es descompten els usos no energètics (fonamentalment naftes i gasos líquids del petroli per fabricar primeres matèries plàstiques), l'objectiu establert passa de representar l'11% del consum d'energia primària a l'11,5% en la revisió del Pla. Aquestes xifres han de ser interpretades mesuradament, ja que aquest percentatge està allunyat de l'objectiu europeu de satisfer un 20% del consum brut d'energia final mitjançant energies renovables. També és cert, tal com assenyalava la revisió del Pla, que aquest representa un objectiu molt difícil d'assolir per a Catalunya, atès que es partia l'any 2005 d'únicament un 3% d'energies renovables en el consum d'energia final, la qual cosa, per tant, representaria multiplicar gairebé per set la contribució de les renovables al consum d'energia final en quinze anys (per contra, l'Estat espanyol parteix d'un 8,7% l'any 2005) (Generalitat de Catalunya, 2009, pàg. 261). Pel que fa a la resta d'objectius del Paquet d'Energia i Clima, Catalunya sembla ben posicionada per assolir-los, sempre que dugui a terme les estratègies i les accions proposades per l'escenari IER del Pla de l'energia (equivalent a l'escenari Aposto-E4 en la revisió). En aquest cas, Catalunya reduiria el con-

Font d'energia renovable	Pla de l'energia 2006-2015 Consum d'energia primària l'any 2015 (ktep)		
	Versió original	Revisió 2009	Diferències
Solar tèrmica	86	111,7	25,7
Solar fotovoltaica	10,2	57,9	47,7
Solar termoelectrica	12	189,3	177,3
Eòlica	758	698,4	−59,6
Hidràulica	528	504,3	−23,7
Biomassa forestal i agrícola	306,6	306,6	0
Biogàs	205,6	205,6	0
Bioetanol	58,7	93,9	35,2
Biodièsel	785,4	348	−437,4
Altres residus renovables	198,8	187,7	−11,1
Total (sense biocarburants)	2.105,2	2.261,5	156,3
Total	2.949,3	2.703,4	−245,9

Taula 11. Comparació d'objectius de consum d'energia primària en l'àmbit de les energies renovables.
Font: Generalitat de Catalunya, 2009, p. 13.

sum d'energia primària un 24,2% davant del 20% europeu exigít, i reduiria les emissions dels seus sectors difusos un 23% respecte de l'any 2005, davant del 10% exigít per l'Estat espanyol en el marc de la Decisió 406/2009/CE.

15.3.1.3. Programa d'estalvi i eficiència energètica als edificis i equipaments de la Generalitat de Catalunya

Aquest programa va ser aprovat l'abril de 2007 i ha estat desenvolupat i coordinat des de l'ICAEN. El programa és un eix vertebrador d'un dels subprogrames del Pla de mitigació del canvi climàtic i un dels pilars d'acció del Govern en la lluita contra el canvi climàtic. El programa té com a objectiu reduir les emissions i millorar l'eficiència energètica dels edificis i equipaments de la Generalitat, per aconseguir un estalvi de l'ordre de 150 GWh/any, tot contribuint a reduir la despesa energètica de l'ordre d'uns 14 M€ anuals (ICAEN, 2009; Generalitat de Catalunya, 2009).

El programa estableix l'obligatorietat d'implantar un sistema de gestió de l'energia en aproximadament 300 edificis i equipaments on la despesa energètica supera els 200.000 KWh/any d'energia final, tèrmica i/o elèctrica. Pel que fa a la resta, s'haurà també d'implantar un sistema de gestió de l'energia adaptat a les seves especificitats. El sistema de gestió inclou la realització d'una auditoria energètica inicial obligatòria, que s'ha de repetir cada cinc anys, i que identifica possibles mesures d'estalvi, de compliment obligat quan el seu període d'amortització sigui inferior a 4 anys. A més, el programa estableix un límit de temperatura màxima de calefacció en 20 °C i de refrigeració en 25 °C.

Fins avui s'han dut a terme totes les auditories energètiques dels centres que ho requerien i s'ha elaborat una guia per als gestors energètics dels edificis públics (ICAEN, 2009). A més, diversos departaments i agències de la Generalitat, entre els quals el Departament de Política Territorial i Obres Públiques (DPTOP), DIUE, DVP, DEF, DMAH, i l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) han implementat diferents mesures d'eficiència i estalvi energètic, a més d'aplicar programes de bones pràctiques ambientals i de formació entre el seu personal. Quasi bé tots els departaments de la Generalitat han incorporat criteris ambien-

tals en els plecs de condicions per tal d'afavorir les empreses energèticament més eficients i ambientalment més sostenibles en les contractacions (OCCC, 2009).

15.3.1.4. Plans locals d'acció d'energia sostenible

En el context de desenvolupament del Paquet d'Energia i Clima, la UE va impulsar el febrer de 2009 un pacte d'alcaldes i alcaldesses amb l'objectiu que el màxim nombre de municipis europeus s'hi adherissin i duguessin a terme estratègies i accions de reducció d'emissions, en coordinació amb els respectius governs regionals i nacionals. En aquest marc, la Diputació de Barcelona ha creat un programa de suport per tal que els ajuntaments catalans que ho desitgin signin el Pacte i elaborin el seu corresponent Pla local d'acció d'energia sostenible (PAES), amb el suport tècnic i financer de la Diputació. Els PAES es consideren fonamentals per assolir els objectius del Pla marc de mitigació de canvi climàtic a Catalunya 2008-2012, perquè es considera que dues tercers parts dels objectius de reducció de les emissions dels sectors difusos en el context del Pla es poden reduir mitjançant actuacions d'àmbit municipal (Diputació de Barcelona, 2009).

Els PAES segueixen una metodologia desenvolupada per la mateixa Diputació i que consisteix en l'elaboració d'un diagnòstic de les emissions municipals,¹⁷ un pla d'acció, un pla de participació, un pla de seguiment i un document de síntesi que és enviat a la Direcció General de Transports i Energia de la Comissió Europea. Segons dades de la mateixa Diputació, fins al setembre de 2009 s'havien adherit al Pacte d'Alcaldes 111 municipis de la província de Barcelona, representant una població de més de 4,5 milions d'habitants. D'aquests municipis, un 69%

17. Els PAES inclouen les emissions de GEH produïdes per activitats de l'Ajuntament, com ara consum d'energia per enllumenat públic, equipaments i flotes de vehicles, però també les emissions sobre les quals l'Ajuntament pot actuar indirectament, incloent-hi el sector domèstic, serveis, transport, residus i aigua. Els PAES no inclouen les emissions de la indústria i el sector primari, com tampoc l'absorció per embornals ni les infraestructures de transport (Diputació de Barcelona, 2009).

representen poblacions inferiors als 25.000 habitants i un 21% representen poblacions que superen els 50.000 habitants. Més de la meitat d'aquests municipis ja han enllestit el seu diagnòstic energètic, com a pas previ a la definició i implementació d'accions. Amb els PAES es vol arribar a evitar l'emissió de 4 milions de tones de CO₂e fins a l'any 2020, aproximadament un 20% de les emissions que es generarien si continués la tendència actual (Diputació de Barcelona, 2009).

15.3.1.5. Plans de reducció d'emissions a les universitats catalanes

Les universitats catalanes són centres d'ensenyament i coneixement que sovint han liderat el compromís i l'acció ambiental a Catalunya. A banda de la docència i la recerca en diverses àrees del canvi climàtic, les universitats han dut a terme plans i accions per reduir les emissions dels seus edificis i equipaments i de les activitats vinculades al funcionament propi de les universitats. Per exemple, la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) va ser pionera en l'elaboració d'una Agenda 21 per a un campus universitari i en l'ambientalització d'esdeveniments introduint criteris de sostenibilitat a la seva Festa Major a partir del 1998. La UAB va esdevenir així un marc de referència per al conjunt d'universitats catalanes, administracions públiques i empreses que també han apostat i promogut l'ambientalització d'actes i festes durant la darrera dècada (Ajuntament de Barcelona, 2001; 2010). Actualment, la UAB, en el marc de l'Agenda 21, també està elaborant un diagnòstic energètic, i impulsant millores d'eficiència energètica a diversos edificis i realitzant campanyes per promoure l'estalvi energètic dins la mateixa universitat i d'altres més divulgatives sobre el canvi climàtic i l'aposta per les energies renovables. Amb l'objectiu de disminuir les emissions generades per la mobilitat, s'està implementant el Pla de mobilitat de la UAB, el qual fomenta l'ús de mitjans no motoritzats i del transport col·lectiu i la racionalització en l'ús del vehicle privat.

El Pla de sostenibilitat 2015 de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) inclou una línia específica que promou l'elaboració d'una diagnosi dels consums energètics i les emissions dels seus edificis, amb l'objectiu d'incorporar progressiva-

ment mesures d'eficiència i energies renovables. Això s'ha traduït en projectes com l'UPCO2, que quantifica les emissions dels edificis i promou estratègies cost-efectivitat de reducció dels consums energètics, i el projecte SIRENA, que ha servit per desenvolupar una eina informàtica en línia que integra i gestiona tota la informació relacionada amb el consum de recursos als edificis de la universitat i que permet generar automàticament comparatives, gràfiques i indicadors de consum, entre d'altres. La Universitat de Girona (UdG), per la seva banda, va aprovar l'any 2000 el seu Pla estratègic d'ambientalització i està promovent la recerca en energies renovables amb instal·lacions pilot de plantes geotèrmiques, aerogeneradors i cobertes fotovoltaïques, així com també la promoció de mesures concretes d'eficiència energètica i gestió de la mobilitat, com és la instal·lació de detectors de presència, llums leds i un sistema per compartir cotxes mitjançant telefonia mòbil.

La Universitat de Barcelona (UB) ha incorporat actuacions de reducció d'emissions en el seu Pla director 2009-2012. Com en els casos anteriors, entre les accions més significatives destaquen la realització d'auditories energètiques per tal d'implantar mesures d'eficiència energètica i la incorporació de mesures d'estalvi en el disseny dels edificis de nova construcció. Com a universitat participant en el projecte UniverSol juntament amb la UAB, la UdG i la Universitat Rovira i Virgili (URV), compta amb una instal·lació fotovoltaica a l'atri solar de les facultats de Física i de Química que genera anualment 60 MWh d'electricitat. També són destacables les mesures de reducció d'emissions associades a la mobilitat, atès que les emissions dels desplaçaments als edificis universitaris triplicaven l'any 2005 els del consum energètic. En aquest sentit, s'ha apostat per la promoció de la bicicleta com a mitjà de transport amb el programa Bicicampus de préstec de bicicletes, s'han incorporat criteris d'eficiència en la línia de transport intern d'autobús del Campus Mundet (on també hi ha un estudi en elaboració sobre l'aprofitament de la l'energia geotèrmica), i s'està desenvolupant un pla de mobilitat del Campus de la Diagonal que, integrant mesures urbanístiques i d'infraestructures, vol afavorir la pacificació del trànsit i l'accés en transport públic.

Finalment, la URV també ha posat en marcha un seguit d'accions per promoure l'ús del transport públic entre la comunitat universitària i la recent Comissió de Política Ambiental, creada l'any 2008, ha implantat criteris de climatització per a edificis i equipaments. El febrer de 2010, la URV ha aprovat el nou Pla de medi ambient que compromet la institució a reduir un 20% les seves emissions de GEH l'any 2020 respecte de les registrades l'any 2005, tot seguint les directrius europees. Amb aquesta finalitat s'estan executant actuacions de millora en l'eficiència de l'enllumenat i es pretén implantar un sistema de monitoratge en línia dels consums dels edificis, seguint l'exemple de la UPC. Aquestes primeres passes en l'àmbit energètic complementen la política d'estalvi d'aigua vigent des de fa una dècada, basada en la xerojardineria, el disseny global dels espais exteriors per minimitzar el consum d'aigua i una gestió adequada del patrimoni forestal afectat per noves edificacions.

15.3.2. Instruments econòmics

En la secció anterior d'aquest capítol, s'ha analitzat el desplegament del comerç d'emissions europeu a l'Estat espanyol i a Catalunya que, per si mateix, es pot considerar un instrument econòmic. A més del comerç d'emissions i la seva normativa associada, que tan sols afecta un nombre determinat de sectors econòmics i industrials, existeixen altres tipus d'instruments econòmics que també pretenen incentivar l'eficiència energètica, l'estalvi i promoure una reducció del consum energètic, incloent-hi els impostos, els programes d'ajuts i subvencions i la certificació energètica. És per això que tant el Pla de l'energia 2006-2015 com la seva corresponent revisió fan èmfasi en la importància de desenvolupar en major grau la fiscalitat sobre l'energia i el CO₂ per «induir i modular els esforços socials de control de la despesa energètica» (Generalitat de Catalunya, 2006, p. 298), «internalitzar les externalitats» (Generalitat de Catalunya, 2009, pàg. 206), o incrementar el finançament de les administracions (*ibid.*).¹⁸

15.3.2.1. Impostos sobre l'energia i les emissions

Pel que fa a la fiscalitat energètica i sobre les emissions, la realitat és que aquesta a Catalunya està poc desenvolupada. Això és, en bona part, pel fet que moltes mesures en aquest àmbit s'han desplegat amb una perspectiva recaptatòria més que no pas ambiental, i estan limitades per qüestions competencials (Roca Jusmet *et al.*, 2007). Per exemple, l'Estat és l'única Administració amb competència reguladora sobre l'impost especial sobre hidrocarburs, malgrat que un 40% de la recaptació d'aquest impost estigui cedit a les comunitats autònomes (CA). L'impost especial sobre l'electricitat i l'impost especial sobre determinats mitjans de transport (impost de matriculació) també estan subjectes a la competència reguladora estatal, però llur recaptació està cedida en un 100% a les CA. De fet, aquest últim va ser cedit totalment l'any 2002 a les CA, que en poden decidir el tipus impositiu fins a un increment del 15% establert per la *Ley 22/2009, de 18 de diciembre, por la que se regula el sistema de financiación de las Comunidades Autónomas de régimen común y Ciudades con Estatuto de Autonomía y se modifican determinadas normas tributarias* (art. 51). En aquest aspecte, ni Catalunya ni cap altra Comunitat Autònoma han situat els tipus de gravamen per sobre dels nivells mínims obligatoris (Corbera *et al.*, 2009b).

D'altra banda, l'impost sobre les vendes minoristes de determinats hidrocarburs té dos trams de gravamen, un de fixat per l'Estat i d'aplicació obligada, i un altre més flexible i que pot ser aplicat o no per les comunitats autònomes, d'acord amb els principis establerts per l'esmentada *Ley 22/2009* (art. 52). Aquesta Llei modificava la vigent fins a l'1 de gener de 2009 (*Ley 21/2001, de 27 de diciembre, por la que se regulan las medidas fiscales y administrativas del nuevo sistema de financiación de las Comunidades Autónomas de régimen común y Ciudades con Estatuto de Autonomía*) i augmentava el valor màxim de gravamen pels diferents tipus de carburants, entre d'altres. Fins ara, la recaptació autonòmica en aquest àmbit s'ha destinat a la despesa sanitària i Catalunya aplica els tipus màxims de gravamen permesos per a l'exercici 2004 segons la disposició transitòria tercera de la *Ley 21/2001* (amb efectes des de l'1 d'agost de 2004), tipus que alhora queden reco-

18. A nivell estatal, les mateixes consideracions estan recollides a *Estrategia española de cambio climático y energía limpia*, 2007, p. 35.

llits en la Llei 7/2004, de 16 de juliol, de mesures fiscals i administratives. Tot això significa que l'entrada en vigor de la *Ley 22/2009* no ha suposat cap canvi envers la situació anterior i, per tant, hi ha marge per augmentar la recaptació. Per exemple, en el cas de la benzina, la Llei 7/2004 estableix un gravamen de 24 € per cada 1.000 litres (secció segona, art. 4), que podria ser augmentat a 48 € segons la *Ley 22/2009* vigent (art. 52). Si s'apliqués aquest augment impositiu, els recursos corresponents es podrien destinar a finançar mesures ambientals (Corbera *et al.*, 2009b, p. 160).

A banda d'aquests tributs, la potestat normativa autonòmica permetria aplicar altres impostos que a Catalunya fins ara no s'han aplicat, però sí en altres CA. L'impost sobre la producció i el transport d'energia s'aplica a Extremadura i grava les activitats de transport d'energia elèctrica mitjançant elements fixos de subministrament. Una altra opció seria establir un impost sobre les emissions de determinats contaminants atmosfèrics, seguint els exemples de Galícia, Castella-la Manxa, Andalusia, Aragó i Extremadura. Aquest segon impost podria plantejar-se establint excepcions impositives per a determinades activitats i sectors (per exemple, empreses de transport públic) i seria perfectament compatible amb el mercat d'emissions europeu, sempre que s'apliqués a sectors contaminants exclosos per les directives 2003/87/CE i 2009/29/CE. Existeixen també altres impostos estatals cedits a les CA en què aquestes últimes tenen possibilitats d'incloure consideracions relacionades amb el canvi climàtic. Per exemple, es podrien aplicar deduccions sobre el tram autonòmic de la quota íntegra de l'impost sobre la renda de les persones físiques (*Ley 35/2006, de 28 de noviembre, del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas y de modificación parcial de las leyes de los Impuestos sobre Sociedades, sobre la Renta de no Residentes y sobre el Patrimonio*) per afavorir inversions destinades a millorar l'eficiència energètica o promoure les energies renovables.

Les administracions locals també tenen atribuïdes competències normatives a través del Reial decret legislatiu 2/2004, de 5 de març, pel qual es va aprovar el text refós de la Llei reguladora de les hisendes locals i, per tant, disposen d'oportunitats per desenvolupar una determi-

nada fiscalitat ambiental. Per exemple, s'ha assenyalat que els ajuntaments podrien preveure bonificacions en l'impost sobre béns immobles, en el cas d'immobles en els quals hi hagi instal·lats sistemes per a l'aprofitament tèrmic o elèctric de l'energia solar; i en l'impost sobre activitats econòmiques, en el cas que els subjectes produeixin energia renovable o justifiquin l'eficàcia de mesures i plans de reducció d'emissions causades pel desplaçament al lloc de treball. També es podria incrementar fins al màxim permès l'impost sobre vehicles de tracció mecànica (impost de circulació) i establir bonificacions per a aquells vehicles més eficients. A més, el Reial decret legislatiu 2/2004 també dóna potestat als ajuntaments per establir bonificacions de fins el 95% sobre l'impost sobre construccions, instal·lacions i obres en el cas que s'hi incorporin mesures d'eficiència energètica i energies renovables, així com reduccions en les taxes d'autorització d'activitats urbanístiques que impliquin la rehabilitació sostenible d'edificis, entre d'altres (Puig Ventosa, 2004; Corbera *et al.*, 2009b, p. 160-161).

15.3.2.2. Ajuts i subvencions

Des de la perspectiva de la incentivació més que no pas de la penalització, el Govern de la Generalitat ha desenvolupat un bon nombre d'ajuts i subvencions (taula 12) que es poden classificar en tres àrees temàtiques: 1) la innovació i la millora tecnològica per promoure l'estalvi i l'eficiència energètica en processos i equipaments de diferents sectors, 2) el desenvolupament d'acions de mitigació en l'àmbit local i 3) la sensibilització ambiental en ens locals, institucions públiques i empreses. Entre aquests ajuts, cal destacar per exemple el Pla renovent de finestres a Catalunya (Ordre ECF/557/2009), mitjançant el qual es vol estalviar energia mitjançant un millor aïllament tèrmic d'edificis industrials i habitatges particulars, i el Pla renovent d'enllumenat i comerços de Catalunya 2010 (Ordre ECF 558/2009), amb l'objectiu de reduir el consum energètic del sector terciari i de serveis mitjançant la substitució i el redisseny dels sistemes d'enllumenat. Tots aquests ajuts i subvencions han impulsat més d'un centenar de mesures del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya i del Pla de l'energia.

15.3.2.3. La certificació energètica

La certificació energètica és un instrument econòmic i de planificació que pot convertir-se a mitjà termini en un element clau de caracterització de tot tipus de productes d'acord amb el seu consum energètic i les emissions de gasos d'efecte hivernacle associades a la seva vida útil. La certificació

energètica proveeix d'informació addicional els consumidors per a la presa de decisions i permet a l'Administració establir uns criteris mínims d'eficiència energètica. Catalunya no ha desenvolupat normativa específica sobre el cas, i s'ajusta a les directives europees corresponents i llur transposició a l'Estat espanyol (Mata, 2009).

Programes d'ajuts i subvencions (vigència)	Disposició legislativa
Pla renova't de finestres a Catalunya (2010)	Ordre ECF/557/2009
Pla renova't d'enllumenat i comerços de Catalunya (2010)	Ordre ECF/558/2009
Règim de concurrència i Règim reglat en el marc del Programa d'energies renovables (2008-2009)	Ordres ECF/315/2008 i 316/2008 Ordres ECF/408/2009 i 409/2009
Estalvi i eficiència energètica en règim reglat en el marc del Programa d'estalvi i eficiència energètica (2008-2009)	Ordres ECF/367/2008 i ECF/368/2008 Ordres ECF/406/2009 i ECF/407/2009
Incentivació de la millora de l'eficiència energètica en explotacions agràries (2008)	Ordre AAR/409/2008
Linies de préstecs destinats al foment d'inversions en explotacions agràries per a la implantació d'instal·lacions de reg d'alta eficiència a l'interior de finques particulars (2008-2009)	Ordre AAR/382/2008 Ordre AAR/106/2009
Ajuts per a programes d'auditoria i assessorament de les explotacions d'oví i cabrum (2008-2009)	Ordre AAR/339/2008 Ordre AAR/428/2009
Subvencions per a la renovació del parc de maquinària agrícola de Catalunya (2008-2009)	Ordre AAR/220/2008 Ordre AAR/286/2009
Subvencions per a l'adquisició en comú de màquines i equips agrícoles que incorporen noves tecnologies (2008-2009)	Ordre AAR/208/2008 Ordre AAR/285/2009
Pla de renovació d'electrodomèstics, de calderes i d'aparells d'aire condicionat a Catalunya (2008-2009)	Ordre ECF/466/2008 Ordre ECF/383/2009
Subvencions per a la rehabilitació d'edificis d'ús residencial i d'habitatges (2008-2009)	Resolucions MAH/884/2008 i MAH/2474/2008 Resolucions MAH/729/2009 i MAH/1786/2009
Subvencions en règim de concurrència competitiva en l'àmbit de la formació, difusió, informació i assessorament en el marc del Pla d'acció de l'estratègia d'estalvi i eficiència energètica i del Pla d'energies (2008-2009)	Ordre ECF/389/2008 Ordre ECF/410/2009
Foment d'activitats de formació en el sector del transport i de la logística i aprovació de les bases (2008)	Ordre PTOP/258/2008
Subvencions a associacions, fundacions i cooperatives sense ànim de lucre per al finançament d'actuacions d'educació i sensibilització ambiental en matèria de canvi climàtic (2008)	Resolució MAH/3014/2008
Ajuts per implantar sistemes voluntaris de gestió ambiental (2009)	Resolució MAH/732/2009
Ajuts destinats a ens locals, a les associacions d'ens locals i als seus organismes autònoms per a la implantació de sistemes voluntaris de gestió ambiental (2008-2010)	Resolució MAH/3041/2008
Subvencions a les empreses inscrites en el Registre europeu de gestió i auditoria ambiental (EMAS) per al finançament d'actuacions de promoció, comunicació i millora ambiental (2009)	Resolució MAH/1449/2009
Subvencions per promoure accions de sostenibilitat local (2008-2009)	Resolució MAH/1538/2009
Ajuts per a la realització d'actuacions d'ordenació ambiental de la il·luminació exterior (2008-2009)	Resolucions MAH/769/2008 i MAH/531/2009

Taula 12. Principals programes d'ajuts i subvencions per a inversions, projectes i accions que contribueixin a la mitigació del canvi climàtic.

Font: elaboració pròpia a partir d'OCCC, 2009 i altres fonts electròniques.

L'etiquetatge energètic d'electrodomèstics està en vigor des de principi dels anys noranta, amb la publicació de la Directiva 92/75/CEE, transposada a l'Estat espanyol pel Reial decret 124/1994.¹⁹ L'etiquetatge energètic ha permès classificar els aparells de major a menor eficiència energètica (de la lletra A a la G, respectivament) i vincular l'accés a ajuts i subvencions per a la renovació d'aparells als nivells d'eficiència energètica. A principi de 2010 existeix una proposta de Directiva pendent d'aprovació al Parlament Europeu que pretén unificar la normativa vigent en etiquetatge energètic d'electrodomèstics i ampliar el seu abast a qualsevol producte que contribueixi directament o indirecta al consum o estalvi d'energia durant el seu ús, com poden finestres, ordinadors o televisors, entre d'altres.

La certificació energètica ja està desenvolupada també en l'àmbit dels vehicles i de la construcció i la rehabilitació de grans edificis. En el primer cas, el Reial decret 837/2002 transposa la Directiva 1999/94/CE i regula la informació referent al consum de combustible i les emissions de CO₂ dels turismes, que ha d'estar explícitament reflectida en el catàleg del vehicle i que, d'una manera voluntària, pot incorporar una comparació amb l'eficiència d'altres vehicles similars. En el segon cas, el Reial decret 47/2007 transposa la Directiva 2002/91/CE i regula el procediment bàsic per certificar l'eficiència energètica d'edificis de nova construcció i de grans rehabilitacions, tot obligant els venedors i arrendadors dels edificis a facilitar un certificat d'eficiència energètica als compradors o llogaters, alhora que complementa l'aprovació del Codi tècnic de l'edificació (Reial decret 314/2006) i les modificacions al Reglament d'instal·lacions tèrmiques d'edificis (Reial decret 1027/2007). La certificació d'eficiència energètica expressa en aquest cas el consum d'energia que tindrà un edifici determinat en condicions normals de funcionament i, com en el cas dels electrodomèstics, classifica els

edificis en set categories (des de la classe A fins a la G). A Catalunya, des de maig de 2008, l'ICAEN disposa de l'estructura del Registre de certificats d'eficiència energètica d'edificis, que quedarà regulat pel Decret d'eficiència energètica dels edificis de nova construcció, de propera publicació.

15.4. L'adaptació al canvi climàtic

Una vegada presentades les principals eines de mitigació del canvi climàtic vigents a Catalunya, impulsades des d'un context internacional o pròpiament català, és hora d'examinar les eines vigents en el camp de l'adaptació, molt menys desenvolupades fins ara. Tal com s'exposa al llarg de les pròximes subseccions, aquest menor desenvolupament de l'adaptació s'explica per múltiples causes, entre les quals la fluïdesa del mateix concepte, que no està vinculat explícitament a les emissions, sinó a uns impactes climàtics més o menys incerts; la idea que l'adaptació al canvi climàtic pot tenir lloc de manera natural, sense necessitat d'incentius, i les possibles sinergies i contradiccions existents entre l'aplicació de diferents polítiques i accions a múltiples escales i mitjançant diversos actors.

15.4.1. Adaptació, vulnerabilitat i resiliència

No existeix una definició consensuada internacionalment del terme «adaptació». Així com la mitigació és un terme relativament fàcil de definir perquè comporta invariablement la reducció de les emissions, l'adaptació pot estar oberta a diferents interpretacions. D'una banda, l'adaptació es pot considerar un procés de canvi gradual, multiescalar, que consisteix en un canvi de pràctiques de comportament, d'acció i de gestió per respondre als impactes i la variació climàtica en el temps, amb l'objectiu de reduir la vulnerabilitat i augmentar la capacitat adaptativa i la resiliència (Adger *et al.*, 2009a). D'altra banda, l'adaptació es pot entendre com el conjunt de polítiques, pràctiques i projectes que moderen els impactes del canvi climàtic o que s'aprofiten dels avantatges d'aquest canvi (EEA, 2007). Ambdues definicions, en qualsevol cas, es fonamenten en el reconeixement que el clima està canviant per inferència humana i que aquest canvi tindrà conseqüències potencialment negatives per a alguns i positives per a uns altres.

19. La Directiva ha estat modificada i ampliada amb normativa més específica per a diferents tipus d'electrodomèstics (directives 95/13/EC, 96/60/EC, 96/89/EC, 97/17/EC, 98/11/EC, 1999/9/EC, 2002/31/EC, 2002/40/EC i 2003/66/EC), que alhora ha estat transposada a l'Estat espanyol en diversos Reials decrets (RD 124/1994, 1326/1995, 607/1996, 864/1998, 574/1996, 701/1998, 284/1999, 210/2003, 142/2003).

«Vulnerabilitat» i «resiliència» són dos conceptes centrals quan es parla d'adaptació. La vulnerabilitat és el grau de susceptibilitat d'un sistema a l'hora d'afrontar els efectes negatius del canvi climàtic, incloent-hi la variabilitat i els fenòmens meteorològics extrems (Parry *et al.*, 2009). La vulnerabilitat depèn, doncs, del caràcter, la dimensió i l'índex de variació climàtica a què estarà exposat el sistema, la seva sensibilitat i la seva capacitat d'adaptació. A escala de país, per exemple, la vulnerabilitat ve determinada pels nivells de salut i nutrició de la població (per exemple, l'accés a l'aigua potable i als aliments), l'educació i les institucions de govern (per exemple, les llibertats civils i els drets polítics) i també pel nivell de desenvolupament econòmic en termes de PIB (Brooks *et al.*, 2005a). A escala local o sectorial, la vulnerabilitat ve determinada també per factors com la intensitat dels fenòmens meteorològics, i els aspectes socioeconòmics, tecnològics i la capacitat d'adaptació dels afectats o del sector en particular. La resiliència, per la seva banda, és un concepte sorgit de la física (és una propietat de certs materials), que s'ha conceptualitzat com una propietat ecològica (Holling, 1973), i que més recentment s'ha aplicat també a l'estudi dels sistemes socials. Per «resiliència» s'entén la capacitat d'un sistema a resistir determinades perturbacions i renovar-se tot seguit per retornar a un estat semblant o diferent a l'anterior que sigui igualment viable; és a dir, la resiliència és la capacitat d'adaptar-se als canvis i continuar desenvolupant-se (Carpenter *et al.*, 2001).²⁰

La història més recent de les societats humanes ens podria suggerir que som força resilents a la variabilitat ambiental. En el transcurs de la història s'han desenvolupat pràctiques de millora genètica dels cultius, sistemes de reg i infraestructures per fer front a canvis pluviomètrics i, més recentment, s'han ideat assegurances i ajuts públics per compensar les pèrdues agrícoles o els danys derivats de fenòmens meteorològics excepcionals. Alguns països gaudeixen de sistemes institucionalitzats i socialment efectius de resposta a desastres naturals, i existeix un sistema

internacional d'ajuda humanitària per fer front a catàstrofes de qualsevol tipus. Però tot això no pot amagar que els canvis ambientals, sobretot si són bruscs, poden perjudicar les societats i els grups socials més vulnerables i que, en alguns casos, poden existir límits a l'adaptació. En altres paraules, adaptar-se a certes condicions climàtiques i ambientals pot ser impossible, tal com suggereix la història d'algunes civilitzacions i grups socials en el passat (Orlove, 2005; Brooks *et al.*, 2005b; Nelson, 2009).

Els límits socials a l'adaptació són incerts, variables i fluctuants segons el context. Adger *et al.* (2009b), per exemple, suggereixen que aquests límits depenen de paràmetres ètics, de coneixement i capacitat d'aprenentatge, tecnològics, institucionals, d'actituds davant del risc i, fins i tot, culturals. Per tant, diferents configuracions d'aquests paràmetres determinaran la capacitat d'adaptació dels individus, grups socials, sectors econòmics i països o regions a la variabilitat climàtica i ambiental. Des d'un punt de vista estrictament biofísic, els límits a l'adaptació no són ben entesos, si bé s'ha suggerit que un increment de la temperatura mitjana global de més de 2 °C pot contribuir a col·lapsar i fer inviables determinats ecosistemes (Schellnhuber *et al.*, 2006; IPCC, 2007). Alhora, s'ha suggerit l'existència de punts de no retorn o *tipping points* per a diferents sistemes del planeta (per exemple, del gel àrtic o de l'Amazònia), que s'assolirien a partir de determinats increments de temperatura i a partir dels quals l'alteració de les característiques del sistema seria dràstica i irreversible, tant pel que fa a ecologia com a condicions ambientals (Schneider i Lane, 2006; Lenton *et al.*, 2008).

Adaptar-se al canvi climàtic implica aleshores reflexionar sobre quins processos ecològics i socials cal facilitar per maximitzar la capacitat adaptativa i reduir la vulnerabilitat, a quina escala de governança i en resposta a quins factors o estímuls. A tall il·lustratiu, la figura 7 defineix quatre estratègies segons l'escala de governança i la percepció de risc d'estress climàtic. Aquesta és una possible i no pas l'única o la més completa manera de conceptualitzar l'adaptació gràficament, ja que a més de les dimensions espacial i de percepció, també poden existir-ne d'altres, com la tipològica, és a dir, el tipus de política,

20. Per aprofundir en aquest concepte vegeu www.stockholmresilience.org.

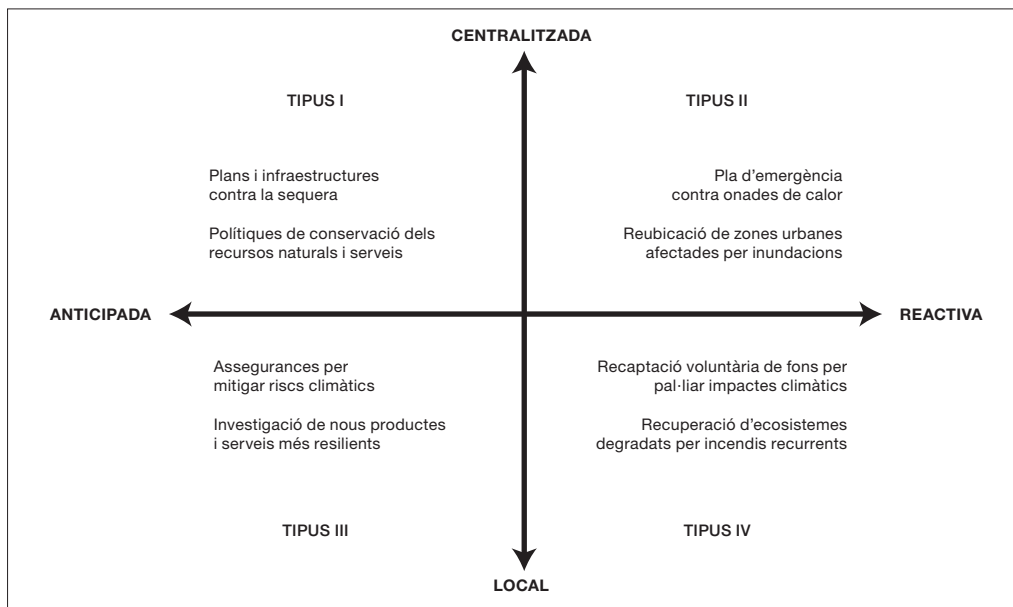


Figura 7. Estratègies d'adaptació i reducció de la vulnerabilitat.
Font: elaboració pròpia.

processos i accions dutes a terme per adaptar-se (Smit i Wandel, 2006).

Els quadrants de l'esquerra representen processos adaptatius que s'anticipen al risc i milloren la resiliència dels sistemes socioecològics, com ara infraestructures i polítiques per a la conservació dels recursos i els serveis ambientals, assegurances, o reorganitzacions productives i socials (Peterson, 2009; Marshall, 2010). El quadrant de dalt suggereix respostes centralitzades, impulsades des d'institucions formals de governança (tipus I), mentre que el de sota (tipus III) suggereix respostes locals o sectorials. Els dos quadrants de la dreta, per contra, representen processos reactius de resposta a episodis climàtics que ja han succeït, com un pla de reordenació urbana després d'una inundació catastròfica o el voluntariat social per recuperar ecosistemes degradats pels incendis. Novament, el quadrant de dalt suggereix respostes centralitzades des d'escalas de governança formal (tipus II), mentre que el de sota reflecteix respostes individuals o col·lectives de caràcter informal (tipus IV). En alguns casos, les respostes de tipus II poden facilitar l'elaboració posterior d'estratègies de tipus I.

Aquests quatre tipus simplificats d'estratègies adaptatives tenen connotacions diferents. Les respostes de caràcter centralitzat i anticipat són potencialment preferibles a les reactives, si bé caldrà executar-les incorporant-hi i acceptant-hi els marges d'incertesa dels models climàtics (Hallegatte, 2009). Les respostes reactives poden resultar més costoses a llarg termini, agreujar desigualtats socials i reduir la resiliència dels sistemes socioecològics (Adger *et al.*, 2005). La figura també denota que les accions i els processos adaptatius poden ser molt variats, contraposats i tenir lloc alhora, i poden reflectir una pluralitat de valors i d'intencions. Per exemple, algunes respostes centralitzades poden adreçar-se a afavorir certs interessos i a marginalitzar aquells dels qui no tenen prou influència sobre la presa de decisions, mentre que d'altres de caràcter local o sectorial poden contradir les estratègies formals (Adger *et al.*, 2009a). De fet, algunes estratègies planificades a escala internacional o sense comptar amb el vistiplau dels afectats poden convertir-se en «maladaptacions» (Barnett i O'Neill, 2010).

També és important tenir en compte que una gran part d'accions adaptatives tindran lloc a nivell individual, col·lectiu o empresarial, d'una

manera autònoma, planificada o reactiva, independentment de polítiques o estratègies formals i, molt probablement, com a resposta a múltiples processos: econòmics, socials, tecnològics, culturals, o climàtics i ambientals. En el camp empresarial, per exemple, les accions d'adaptació poden venir induïdes per la necessitat de maximitzar la competitivitat i consistir en identificar i minimitzar els possibles impactes de la variabilitat climàtica en les instal·lacions, els processos, les xarxes de subministrament i els mercats, entre d'altres. Les empreses, evidentment, també són i seran cabdals a facilitar l'adaptació d'altres actors mitjançant el desenvolupament de noves tecnologies o productes, que alhora poden augmentar la seva quota de mercat i el reconeixement social.

15.4.2. Context internacional d'adaptació

L'adaptació és un procés que es pot promoure i tenir lloc a diferents escales de governança, sovint impulsat per diferents propòsits i circumstàncies. La CMNUCC va reconèixer, des dels seu inici, que una de les seves tasques principals havia de ser assistir els països en desenvolupament a adaptar-se als efectes adversos del canvi climàtic (article 4.4). L'adaptació en el marc de la CMNUCC ha esdevingut una qüestió global de justícia ambiental i social, el principal repte de la qual ha consistit a definir qui és responsable dels impactes climàtics, o almenys de la fracció d'aquests impactes atribuïble a les emissions

històriques, i per tant sobre qui hauria d'assumir els costos de les polítiques i accions dirigides a reduir la vulnerabilitat d'aquells països i regions en desenvolupament que actualment ja estan patint el canvi climàtic i que, en el futur, esdevindran potencialment més vulnerables (Paavola i Adger, 2006). En aquest context, la CMNUCC ha desenvolupat una estructura de governança financera que permet als països en desenvolupament accedir a recursos econòmics per a la implementació de plans i accions d'adaptació (figura 8).

Els principals actors internacionals en aquesta estructura són els països en desenvolupament, la COP de la CMNUCC, el Fons Mundial per al Medi Ambient (GEF, pel seu acrònim en anglès) i les seves corresponents agències d'implementació (AI), que inclouen, entre d'altres, el Programa de les Nacions Unides per al desenvolupament (PNUD), per al medi ambient (PNUMA) i el Banc Mundial. La COP, que es reuneix anualment, gestiona la transferència de recursos entre els països desenvolupats i en desenvolupament i estableix el full de ruta pel que fa a les estratègies i accions d'adaptació que s'han de finançar des del GEF. Per la seva banda, els països en desenvolupament manifesten els seus interessos i prioritats a la COP, alhora que proposen modalitats d'acció i finançament, tant a la COP com al GEF, i són els recipients últims dels recursos.

El GEF gestiona quatre fons relacionats amb l'adaptació al canvi climàtic:

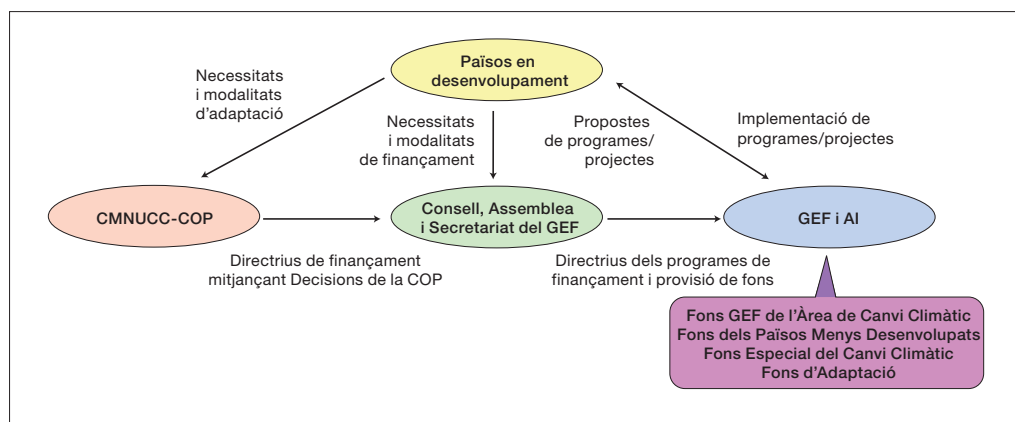


Figura 8. Marc de governança de l'adaptació al canvi climàtic a escala internacional.

Font: traduït i modificat a partir de Möhner i Klein, 2007, p. 3.

1. El Fons GEF de l'Àrea de Canvi Climàtic (*GEF Trust Fund climate change focal area*), establert l'any 1995, per al finançament d'estudis de vulnerabilitat i comunicacions nacionals als països en desenvolupament, i ampliat l'any 2001 amb el nom de Fons GEF de Prioritat Estratègica per Desenvolupar l'Adaptació (*GEF Trust Fund Strategic Priority Piloting an Operational Approach to Adaptation-SPA*).
2. El Fons dels Països Menys Desenvolupats (*Least Developed Countries Fund*), establert l'any 2001, per a l'elaboració dels programes d'acció nacionals d'adaptació (NAPA) per als països menys desenvolupats, entre d'altres.
3. El Fons Especial del Canvi Climàtic (*Special Climate Change Fund*), establert l'any 2001, per a la implementació de programes i estratègies d'adaptació que promoguin beneficis ambientals i de desenvolupament.
4. El Fons d'Adaptació (*Adaptation Fund*), també establert l'any 2001, però que tot just ha començat a ser operatiu, i que té per objectiu finançar projectes específics d'adaptació. Els recursos econòmics d'aquest últim fons són els únics que no són d'aportació voluntària i estan vinculats a la venda dels CER dels projectes de l'MDN (vegeu secció 15.2.2.2). A més, els recursos generats seran gestionats pel GEF però s'ha ampliat el nombre de possibles AI i el seu secretariat està descentralitzat i format per membres de diferents països membres de la CMNUCC.²¹

Excloent el Fons d'Adaptació, aquest sistema de governança ha estat força criticat des de la comunitat acadèmica i des dels mateixos països en desenvolupament, que han expressat la seva disconformitat en molts dels seus aspectes durant les últimes COP. Entre d'altres, s'ha assenyalat que els procediments per accedir als recursos econòmics són extremament complexos i costosos, alhora que els criteris per assignar-los resulten poc clars i sovint deixen de banda els països més vulnerables (Persson *et al.*, 2009). Aquestes ineficiències s'han traduït en un comportament

estratègic d'alguns països a l'hora d'accedir als recursos, tot cercant-los allà on hi ha més disponibilitat de fons i no pas segons si el programa d'adaptació per desenvolupar és estrictament elegible o prioritari. D'altra banda, les dificultats de la COP a distingir específicament entre adaptació i desenvolupament dificulta al GEF el càlcul del cost incremental de les mesures d'adaptació (Pavola i Adger, 2006; Klein i Möhner, 2009).

Pel que fa a les xifres, és difícil calcular exactament quants recursos s'han destinat a l'elaboració de programes i accions d'adaptació als països en desenvolupament fins ara, en bona part perquè no tota aquesta ajuda s'ha canalitzat a través dels fons esmentats, sinó que també s'ha distribuït mitjançant iniciatives bilaterals i dels programes de cooperació oficials dels països donants. Segons dades del mateix GEF, fins al 2007 s'havia invertit un total de 283 milions de dòlars americans (US\$) a través dels fons, si bé altres institucions indiquen un total de 183 milions fins a l'any 2008 i uns recursos addicionals de 610 milions durant el període 2000-2006, provinents de l'ajuda al desenvolupament i dirigits específicament a programes i projectes d'adaptació (Global Environment Facility, 2007; Robertson *et al.*, 2008; Persson *et al.*, 2009).

Entre les accions finançades fins ara, cal destacar l'elaboració de més d'un centenar de comunicacions nacionals als països en desenvolupament, que inclouen avaluacions de vulnerabilitat i riscos climàtics, estratègies i plans nacionals d'adaptació a 43 països, i més d'una trentena de programes i projectes d'adaptació a diferents regions, països i sectors socioeconòmics. Entre aquests, per exemple, hi ha l'elaboració de plans i projectes contra la sequera, programes de diversificació productiva al sector agroramader o la planificació i gestió de diverses regions costaneres (Global Environment Facility, 2007).

Malgrat aquestes primeres passes, encara som lluny dels nivells de finançament que la CMNUCC i altres analistes han considerat necessaris per fer front a les necessitats d'adaptació dels països en desenvolupament, i que són de l'ordre de desenes o centenars de bilions de dòlars anuals (UNFCCC, 2008; Persson *et al.*, 2009). Per aquest motiu, i tenint en compte la volatilitat històrica de l'ajuda per al desenvolupament, s'hauria de considerar

21. Per a informació detallada sobre aquests fons, es poden consultar les adreces següents: <http://thegef.org> i <http://afboard.org>.

l'establiment de mecanismes de finançament més estables i previsibles, que seguissin el model del Fons d'Adaptació. Aquest últim, per exemple, aportarà potencialment entre uns 80 i 300 milions de dòlars anuals durant el període 2008-2012 derivats de la taxació dels CER, i que caldrà afegir a les contribucions de diferents membres de la CMNUCC als altres fons del GEF. En aquest sentit, l'Acord de Copenhaguen en la passada COP-15 va manifestar el compromís dels països desenvolupats a mobilitzar 30 bilions de dòlars addicionals per finançar la mitigació i l'adaptació als països en desenvolupament fins a l'any 2012 i uns altres 100 bilions anuals fins al 2020, si bé l'Acord no defineix com es generaran aquests recursos (Earth Negotiation Bulletin, 2009).

15.4.3. L'adaptació a la UE

A diferència de la política europea de mitigació, condicionada per l'objectiu de reducció d'emissions del PK i pel qual s'han anat desenvolupant un seguit de disposicions legislatives, com les directives per al desplegament dels instruments vinculats al comerç d'emissions, les energies renovables o el recent Paquet d'Energia i Clima, entre d'altres, la política d'adaptació europea no s'ha transposat normativament i s'ha desenvolupat d'una manera relativament desorganitzada.

Segons Rayner *et al.* (2009), l'inici de l'interès europeu per l'adaptació cal cercar-lo en les inundacions de l'Europa central de l'any 2002 i l'onada de calor de 2003, que van donar lloc a la creació d'un Fons de Solidaritat per fer front als desastres naturals i la posterior Directiva 2007/60/CE sobre inundacions. L'establiment l'any 2005 d'un grup de treball sobre adaptació al segon Programa europeu de canvi climàtic²² ha permès des d'aleshores als estats membres aprofundir en aspectes com la integració dels principis de l'adaptació a diferents polítiques i sectors (agricultura, aigua, biodiversitat, pesca i energia) i les possibilitats de generar finançament addicional. L'adaptació al canvi

climàtic ha tingut un paper cada vegada més central a l'agenda de la Direcció General i l'Agència Europea del Medi Ambient des de l'any 2004, tot plegat culminant en l'elaboració del *Llibre verd* (EC, 2007) i el *Llibre blanc sobre adaptació al canvi climàtic a la UE* (EC, 2009a).

El *Llibre blanc*, aprovat l'abril de 2009, estableix un marc conceptual per facilitar la definició i el desplegament de polítiques, programes i accions des dels mateixos estats de la UE i s'acompanya de tres documents de diagnosi per a diferents sectors (agricultura, salut i aigua i medi marí). Com es mostra a la taula 13, el *Llibre blanc* s'estructura en quatre eixos d'acció amb objectius i tasques en un estat inicial de desenvolupament. Per al desplegament d'aquests objectius, la UE ha creat un Grup d'Impactes i Adaptació en el marc de la Direcció General del Medi Ambient, que es reuneix dues vegades a l'any i que està format per tècnics de cada país membre, així com per científics i representants de la societat civil (EC, 2009a; Delsalle, 2009).

Fins avui, l'adaptació a la UE s'ha centrat, d'una banda, en el desenvolupament d'avaluacions d'impactes i vulnerabilitat per diferents regions i sectors econòmics, encarregats per la mateixa Direcció General del Medi Ambient o desenvolupades des dels mateixos estats i com a part de les seves comunicacions nacionals a la CMNUCC. D'altra banda, i únicament en alguns països, s'han elaborat plans nacionals d'adaptació que pretenen integrar l'adaptació al canvi climàtic en diferents polítiques sectorials, tal com veurem a continuació per al cas espanyol. Només vuit estats han publicat estratègies nacionals d'adaptació (Finlàndia, Espanya, França, Dinamarca, Alemanya, Hongria, Països Baixos i Regne Unit), cinc més estan preparant-les i catorze encara no les tenen previstes (EC, 2009b).

Aquestes dades suggereixen que la política d'adaptació ha coevolucionat des de les institucions europees i des dels mateixos estats, alguns dels quals han desenvolupat els seus propis plans independentment de l'establiment d'una disposició comunitària. Això també demostra que, fins ara, l'adaptació s'ha vist com un procés que ha de ser estimulat des dels governs i la societat civil, més que no pas des de disposicions comunitàries. En aquest sentit, Jordan *et al.* (2009) suggereixen que

22. El Programa europeu de canvi climàtic és el principal instrument de la Comissió Europea per discutir i preparar el desenvolupament de les polítiques de canvi climàtic a la UE. Actualment té cinc grups de treball principals: aviació, diòxid de carboni i cotxes, segrest i emmagatzematge de diòxid de carboni, adaptació i comerç d'emissions. Més informació a: <http://ec.europa.eu/environment/climat/eccpii.htm>.

Millora del coneixement sobre els impactes i la vulnerabilitat, així com del cost i els beneficis de les accions d'adaptació
Desenvolupar projeccions i escenaris climàtics i socioeconòmics arreu d'Europa
Desenvolupar una base de dades sobre distribució d'impactes climàtics i nivells de vulnerabilitat
Desenvolupar una plataforma de transferència d'experiències i coneixement sobre impactes i mesures d'adaptació
Definició d'un manual per al desenvolupament de plans d'adaptació regional
Des del 7è Programa marc de recerca, promoure:
L'anàlisi dels impactes climàtics per a diferents sectors econòmics
La identificació dels límits de resiliència de diferents sistemes socials i ecològics de la UE
La recerca sobre com la gestió dels ecosistemes pot afavorir l'adaptació i substituir les infraestructures
Assegurar la implementació de mesures positives d'adaptació, evitant les "maladaptacions" i promovent l'adaptació en polítiques sectorials de la UE
Analitzar el cost i els beneficis de l'adaptació per a diferents sectors (energia, salut, aigua i medi costaner i marí, transport i biodiversitat)
Identificar mesures d'acció adaptativa per a cada sector, que generin beneficis socials i econòmics independentment del futur climàtic i, addicionalment, puguin promoure la mitigació
Identificar sinergies i conflictes de les mesures adaptatives entre els diferents sectors
Posar en marxa un procés per coordinar les polítiques d'adaptació nacionals i començar un debat sobre possibles mecanismes de finançament
Identificar les mesures vigents d'adaptació integrades al Pla europeu per a la recuperació econòmica i al Programa de la UE per al desenvolupament rural
Explorar el potencial de les assegurances i els productes financers en l'adaptació.
Iniciar un debat sobre el finançament de l'adaptació a la UE
Avançar en el desenvolupament de les polítiques i accions d'adaptació a nivell internacional
Promoure acords bilaterals i regionals per a l'adaptació
Presentar a la CMNUCC un Pla marc d'adaptació a la UE en el futur

Taula 13. Eixos i accions del Llibre blanc de l'adaptació al canvi climàtic a la UE.

Font: elaboració pròpia a partir de EC, 2009a i Delsalle, 2009.

això no ha estat possible, d'una banda, pels conflictes d'interessos entre els estats membres en diferents sectors susceptibles de desenvolupar accions d'adaptació (per exemple, agricultura, planificació territorial i transport) i, de l'altra, per les dificultats de definir amb claredat què s'entén per «adaptació» i quins han de ser els seus objectius. També cal assenyalar que el camí recorregut fins ara ha comportat certa replicació d'esforços i poca coordinació, sobretot pel que fa a les avaluacions d'impactes i vulnerabilitat dutes a terme des de la Direcció General del Medi Ambient i des de les estratègies nacionals dels estats membres. Cal esperar, doncs, que el *Llibre blanc* i especialment el treball del Grup d'Impactes i Adaptació serveixi per coordinar esforços i gestionar els recursos més eficientment.

A mesura que el *Llibre blanc* es desenvolupi, no s'hauria de descartar la creació d'un marc normatiu d'adaptació més ambiciós, si més no aprofitant i ampliant algunes de les directives vigents, com la Directiva sobre hàbitat o la de l'ai-

gua, per tal d'assegurar-ne el compliment de la manera més estricta possible i potenciar la connectivitat entre sistemes hidrològics i hàbitats, de manera que n'augmenti la resiliència. També és possible imaginar el desenvolupament de directives que estableixin estàndards pel que fa al màxim consum i eficiència en l'ús de l'aigua en equipaments i sistemes, tot complementant així la certificació energètica (Rayner *et al.*, 2009). També és possible que en el futur assistim a la utilització del Fons de Solidaritat de la UE per aportar recursos als països més vulnerables o que es creï un mecanisme innovador per finançar l'adaptació, com per exemple un impost europeu sobre els GEH o un increment en la taxaació del comerç d'emissions (Rayner *et al.*, 2009). Que tot això s'esdevingui, és clar, dependrà de la capacitat negociadora dels estats i de la seva voluntat a acceptar un paper encara més central de la UE en la governança del canvi climàtic.

Així com en el cas de la mitigació s'ha evidenciat que hi ha un nombre creixent d'empre-

ses —regulades i dels sectors difusos— que adopten progressivament mesures d'eficiència energètica i de reducció d'emissions, no es pot dir el mateix en el cas de l'adaptació. Com s'ha esmentat anteriorment, l'adaptació en el cas empresarial suposa avaluar els possibles impactes del canvi climàtic sobre les instal·lacions, els processos, les xarxes de subministrament o els mercats, així com la capacitat d'innovar en nous productes i serveis arran d'aquests potencials impactes. Si bé totes les empreses consumeixen energia i, per tant, quasi sempre generen emissions, no es pot dir el mateix de l'adaptació, ja que alguns sectors econòmics poden ser més sensibles al canvi climàtic que d'altres, de la mateixa manera que els possibles sectors que puguin treure'n profit tampoc seran tots.

Alguns estudis han assenyalat que pocs sectors econòmics a la UE, amb la notable excepció d'organitzacions en el sector de l'aigua, han integrat en la seva gestió empresarial l'adaptació al canvi climàtic, que es manté com una qüestió de poca atenció estratègica. Els processos d'anàlisi de risc de les empreses tendeixen a preveure únicament les possibles catàstrofes naturals com a únics «agents climàtics disruptors», però no consideren els efectes que els canvis climàtics graduals, per exemple una major freqüència d'inundacions de baixa intensitat o un increment dels dies extremament calorosos durant l'estiu, puguin tenir sobre les xarxes de proveïdors i de distribució (Sullivan *et al.*, 2010).

15.4.4. L'adaptació a l'Estat espanyol i a Catalunya

L'Estat espanyol va desenvolupar i aprovar l'any 2006 el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), amb l'objectiu d'establir un marc de referència per a la coordinació de les administracions públiques de l'Estat pel que fa a les activitats relacionades amb l'avaluació d'impactes, vulnerabilitat i adaptació al canvi climàtic. Els principals objectius del PNACC consisteixen en: a) desenvolupar escenaris climàtics regionals, b) definir i aplicar mètodes per avaluar els impactes del canvi climàtic en diferents sistemes socioeconòmics i ecològics, i c) promoure la participació de tots els agents socials per integrar l'adaptació a totes les polítiques sectorials (MMA, 2006).

El PNACC s'executa seguint plans de treball biennals que estableixen les prioritats d'acció i de finançament, les quals durant el període 2006-2008 van ser la generació dels escenaris regionals de canvi climàtic i l'avaluació d'impactes sobre els recursos hídrics, les zones costaneres i sobre la biodiversitat. El primer informe de seguiment del PNACC (MMA, 2008) constata, com avenços més significatius:

- El desenvolupament i la publicació dels escenaris climàtics regionals per l'Agencia Española de Meteorología, que s'estendrà durant els propers quatre anys amb l'elaboració de nous mètodes de regionalització, en els quals col·laboraran diversos grups científics de l'Estat.
- Els avenços en l'anàlisi de l'impacte del canvi climàtic sobre els recursos hídrics a la península ibèrica, liderat des del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), però encara sense cap publicació destacada.
- El desenvolupament de les bases metodològiques per a l'avaluació dels impactes del canvi climàtic sobre la biodiversitat, adjudicat a la Universitat d'Extremadura i al Museo Nacional de Ciencias Naturales.
- L'elaboració d'una diagnosi sobre els efectes del canvi climàtic a la costa mediterrània, dirigida per la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, i que defineix un conjunt d'Unitats de Gestió del Litoral, en el marc de la futura Estratègia de Sostenibilitat de la Costa, actualment en discussió.

A Catalunya, des d'una perspectiva internacional, cal remarcar el paper que el Govern de la Generalitat ha assumit impulsant la participació de les autoritats subnacionals (ajuntaments, províncies, regions o estats) en la presa de decisions en el context de la CMNUCC i del PK, incloent-hi l'adaptació, com a membre actiu del Climate Group i de la Xarxa de Govern Regionals per al Desenvolupament Sostenible (NRG4SD). Cal destacar també el suport del Govern a les declaracions de Saint-Malo i de les Regions, en les quals es pressiona els estats membres de la CMNUCC a adoptar polítiques ambicioses de reducció d'emissions i d'adaptació i a reconèixer el paper de les regions i les autoritats subnacionals en la lluita

contra el canvi climàtic, incloent-les visiblement i activament en la presa de decisions (taula 14).

El Govern de la Generalitat, a través de l'Agència Catalana de Cooperació per al Desenvolupament (ACCD) del DVP i del DMAH, també es va adscriure durant la passada COP-15 a Copenhaguen a la iniciativa *Territorial Approach to Climate Change: Facilitating Public-Private Partnerships* (TACC), impulsada pel PNUD. Aquesta iniciativa té com a objectiu principal finançar i oferir assistència als governs regionals i locals dels països en desenvolupament per a l'elaboració de plans regionals de reducció d'emissions, d'anàlisi de vulnerabilitats i d'adaptació. En el marc del TACC, el Govern ha signat un acord de col·laboració amb la regió de Fatick a la República del Senegal, que actua com a administració

intermèdia entre el govern central d'aquest país i les col·lectivitats de base, és a dir, els municipis i les comunitats rurals. Aquest acord complementarà els projectes que, finançats des de l'ACCD, tinguin com a objectiu directe o indirecte l'adaptació al canvi climàtic en altres països.

Pel que fa a les polítiques d'adaptació a Catalunya, i en la línia del PNACC nacional, fins ara els esforços s'han concentrat en l'elaboració d'estudis sobre vulnerabilitat, risc climàtic i possibles estratègies d'adaptació per a determinats sistemes socioecològics i, per ara, no existeix un pla rector d'adaptació a nivell català. El desembre de 2008, l'OCCC va presentar un estudi sobre la dinàmica sedimentària, morfològica i ecològica del delta de l'Ebre, considerada una de les regions més vulnerables del nostre país, que tenia en

Declaració de Saint-Malo (30 d'octubre de 2008, Saint-Malo, França)

Context

Cimera de les Regions contra el Canvi Climàtic (30 governs descentralitzats, 99 regions, 650 delegats), organitzada per l'NRG4SD.

La cimera pretenia intercanviar experiències regionals en la lluita contra el canvi climàtic i definir compromisos de futur.

Continguts

La Declaració posa de manifest l'important paper de les regions en la implementació de les polítiques de mitigació i adaptació al canvi climàtic, així com el principi de responsabilitat i capacitats comunes, però diferenciades, de les parts. Entre els seus principals punts, destaquen:

El compromís de les regions a adoptar i desenvolupar les decisions de la CMNUCC i del PK post-2012.

El desenvolupament de mesures de cooperació i col·laboració institucional, tecnològica i financera entre les regions membres de la xarxa NR4SD.

La definició i implementació d'estratègies pròpies de mitigació i d'adaptació, en coordinació amb les disposicions internacionals i nacionals de cada país.

La crida als estats membres de la CMNUCC perquè reconguin la importància i el paper de les regions en la lluita contra el canvi climàtic.

Declaració dels governs federats i regionals a la CMNUCC. Copenhaguen, 15 de desembre de 2009

Context

Quinzena cimera de la CMNUCC a Copenhaguen; inici de les negociacions del Protocol de Kyoto post-2012. La Declaració està impulsada per un conjunt de xarxes i organitzacions que representen autoritats subnacionals i/o empreses, com ENCORE, FOGAR, l'Assemblea Europea de les Regions, el Climate Group, l'NRG4SD i OLAGI, entre d'altres.

Es fonamenta en el principi que entre un 50-80 % de les accions per a la reducció d'emissions hauran de desenvolupar-se a nivell subnacional o local.

Continguts

La Declaració assenyalava que un total de 50 ministres i representants d'autoritats subnacionals s'han compromès a desenvolupar accions addicionals a aquelles acordades en el marc del Protocol de Kyoto i de la Convenció, en particular a una promoció més activa de les polítiques i programes per a l'estalvi i l'eficiència energètica, així com a promoure col·laboracions entre les regions dels països desenvolupats i subdesenvolupats en diferents àmbits de la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic.

La Declaració encoratja els membres de la CMNUCC i del Protocol de Kyoto a:

Acceptar objectius ambiciosos de reducció d'emissions.

Reconèixer l'important paper dels governs regionals i les autoritats subnacionals en la lluita contra el canvi climàtic.

Taula 14. Principals punts de la Declaració de Saint-Malo i de Copenhaguen.

Font: elaboració pròpia a partir de www.bcn.cat/climatechange/ca/saint-malo.html.

compte tres escenaris climàtics futurs: un horitzó temporal 2050, amb un ascens del nivell mitjà del mar de 15 centímetres; un horitzó temporal 2100, amb un augment del nivell del mar de 40 centímetres, i un horitzó 2100, l'escenari pessimista, amb un augment d'un metre (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008).

Les principals contribucions de l'estudi inclouen la identificació dels principals impactes sobre el medi físic, natural i humà provocats per l'augment del nivell del mar, entre els quals destaquen la pèrdua de terrenys en algunes àrees del delta, el retrocés terra endins dels espais dunars, l'increment de la falca salina, canvis abiòtics i biòtics en els sistemes naturals del delta, particularment en els patrons de presència, distribució i abundància d'espècies, així com possibles danys en infraestructures i en activitats tradicionals d'agricultura i aquicultura²³ (*ibid.*). L'estudi suggereix quatre tipus possibles d'accions d'adaptació: 1) mesures de gestió, planificació i normativa, com l'elaboració d'un pla d'adaptació específic per al delta o la redefinició dels límits dels espais protegits; 2) mesures per a l'obtenció i gestió de dades, i l'elaboració d'estudis; 3) mesures per a la informació i sensibilització ciutadana, i 4) mesures d'intervenció directa, com la redefinició de la línia de costa, la conservació i el desenvolupament de sistemes dunars per amortir l'augment del nivell del mar i accions per garantir el lliure moviment de la sorra (*ibid.*).

D'altra banda, l'abril de 2009 l'ACA va presentar un estudi exhaustiu sobre els impactes del canvi climàtic sobre els recursos hídrics de Catalunya, en el qual van participar més d'una vintena d'experts en diverses àrees (ACA, 2009). Entre d'altres, es van analitzar diferents escenaris de disponibilitat i fluxos hídrics en funció de projeccions globals i regionals, així com els possibles impactes d'aquestes prediccions sobre diferents sistemes naturals i sectors socioeconòmics, incloent-hi els ecosistemes aquàtics, l'agricultura, la indústria o els entorns urbans, entre d'altres. Alguns capítols de l'estudi fan referència a estratègies per a la reducció de la vulnerabilitat i

l'adaptació en l'àmbit corresponent, si bé en cap cas resulta un objectiu central de l'anàlisi.

Finalment, en el camp empresarial, i com succeïa en el cas de la reducció voluntària d'emissions, no existeix una base de dades de lliure accés i registre on hi hagi informació sobre les accions d'adaptació desenvolupades per empreses catalanes i de la resta de l'Estat. Malgrat això, sembla que el nombre d'organitzacions que desenvolupen estratègies o nous productes i serveis per fer front al canvi climàtic va augmentant (Fundación Entorno, 2008). Més enllà de les consultories que treballen en aquest àmbit i de les empreses tecnològiques en el camp de l'energia i l'aigua, que ofereixen serveis i comercialitzen productes per reduir les emissions o millorar l'eficiència en l'ús dels recursos, cal destacar empreses del sector de la construcció que incorporen sistemes de captació d'aigua de pluja i reutilització de les aigües grises per reduir el consum d'aigua, així com empreses del sector alimentari i agrícola (algunes amb seu a Catalunya) que estan desenvolupant noves varietats i sistemes de cultiu per fer front a l'increment progressiu de la temperatura i l'escassetat d'aigua (Fundación Entorno, 2008; Almirall, 2009). En aquest sentit, cal destacar l'impuls des de l'Institut Català de la Vinya i el Vi (INCAVI) de conferències i cursos dirigits a la gestió ecològica i l'adaptació al canvi climàtic,²⁴ i la participació activa d'empreses vinícoles catalanes en projectes de recerca per millorar la producció en condicions climàtiques diferents a les actuals.²⁵

15.5. Conclusions

Aquest capítol ha revisat d'una manera sintètica el desplegament d'instruments de mitigació i adaptació per fer front al canvi climàtic a Catalunya. En el cas dels instruments econòmics de mitigació vinculats al comerç d'emissions i de l'adaptació al canvi climàtic, s'ha dut a terme una revisió conceptual i se n'ha avaluat el nivell d'implementació a nivell internacional, de la UE i de l'Estat espanyol (seccions 15.2 i 15.4), amb l'objec-

23. Cadascun d'aquests possibles impactes i d'altres, s'analitzen amb més detall per a cadascun dels escenaris de futur inclosos per l'estudi.

24. Segona Conferència Internacional de Vitivinicultura ecològica, sostenible i canvi climàtic, 15-16 de juny 2010. <<http://wine.uab.cat/>>

25. Projecte Cenit-Demeter <<http://www.cenitdemeter.es/>>

tiu de visualitzar fins a quin punt Catalunya participa o desenvolupa aquests instruments i quins són els sectors econòmics i socials que fins ara més hi estan més vinculats. S'ha fet evident que aquests instruments tenen un paper clau en la reducció i la gestió de les emissions, tant de les indústries afectades per la Directiva 2003/87/CE com dels governs dels estats membres. El cas espanyol és paradigmàtic en aquest sentit, ja que caldrà que faci un ús intensiu dels mecanismes de mercat per tal de complir els objectius del PK.

Els mecanismes de mercat, però, fins ara no han pogut actuar com un incentiu suficient per reduir les emissions del sector de la generació d'energia ni a l'Estat ni a Catalunya i, pel que fa a altres sectors regulats, no és fàcil determinar si la reducció de les emissions ha estat gràcies als efectes dissuasius del preu del CO₂ o al context econòmic global, que ha fet caure dràsticament la producció de molts sectors afectats pel comerç d'emissions, com en el cas del ciment, l'acer o el vidre, entre d'altres. L'anàlisi també ha palesat que les empreses catalanes regulades per la Directiva no han tingut gaire interès a participar en els mecanismes de reducció d'emissions mitjançant projectes, llevat d'algunes excepcions. Els principals participants són grans empreses energètiques i el mateix Govern espanyol, que ha capitalitzat un gran nombre de fons per comprar CER i tal vegada arribar a complir els objectius determinats pel PK.

Els mecanismes de comerç d'emissions són eines encara poc utilitzades pels sectors difusos, si bé en alguns casos s'han emprat com a complement dels compromisos o programes de reducció de les emissions que algunes organitzacions, sobretot de l'àmbit públic, han volgut assumir. En aquest sentit, Catalunya encara es troba lluny del nivell d'ús que el sector públic i privat d'altres països europeus fan dels mecanismes de comerç d'emissions com a vehicles per contribuir al finançament d'iniciatives de reducció d'emissions dins o fora dels seus propis països. En aquest sentit, els futurs acords voluntaris de reducció d'emissions en el marc del Pla de mitigació del canvi climàtic 2008-2012 poden esdevenir una estratègia central per promoure la «neutralitat en emissions» entre els sectors difusos.

L'existència d'una diversitat d'instruments de planificació i de caràcter econòmic, desplegats des de Catalunya i vinculats directament o indirecta a la reducció d'emissions demostra un compromís ferm del Govern i d'algunes administracions locals davant del canvi climàtic. Desafortunadament, però, els principals instruments de planificació encara són d'aprovaació recent i és difícil, si no impossible, avaluar-ne l'impacte d'una manera exhaustiva. L'avaluació del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 assenyalava que un percentatge elevat de les accions previstes de mitigació als sectors difusos estan desenvolupant-se, si bé encara no és possible determinar amb precisió l'estalvi energètic que aquestes accions representen. La revisió del Pla de l'energia 2006-2015, per contra, presenta avenços significatius en relació amb la millora de la intensitat energètica o el desenvolupament de les renovables, entre d'altres, però no pot amagar el fet que les emissions de GEH a Catalunya van continuar augmentant fins a l'any 2007 i que la davallada de 2008 té molt a veure amb la crisi econòmica. D'altra banda, el Govern ha desenvolupat un gran nombre de programes d'ajut i subvencions per promoure la reducció d'emissions, però se'n desconeix fins ara el nivell de cost-efectivitat. Alhora, la inexistència d'un marc impositiu català explícitament encaminat a la reducció de les emissions i la penalització de l'energia d'origen fòssil suggereix que encara queda camí per recórrer per incentivar la mitigació més enllà dels sistemes de compravenda de drets i del suport directe amb incentius públics.

Pel que fa a l'adaptació, el capítol ha evidenciat que aquesta és per si mateixa un procés complex, multiescalar, que tindrà lloc d'una manera desigual, de vegades planificadament i d'altres autònomament, i a diferents escales de governança. L'adaptació és, en qualsevol cas, inevitable. La política internacional d'adaptació ha consistit a definir una estructura financera amb múltiples fons d'ajuda, de governança complexa, per tal de assumir el cost incremental dels països més vulnerables a adaptar-se al canvi climàtic. El fet que únicament el Fons d'Adaptació estigui vinculat a la venda de CER i que la resta de fons sigui d'aportació voluntària genera incertesa sobre la

disponibilitat real de recursos per als països en desenvolupament durant els propers anys i que, segurament i malgrat les recents promeses a la COP-15, seran inferiors als que es consideren necessaris.

L'adaptació a la UE, en contrast amb la mitigació, ha esdevingut una qüestió codesenvolupada entre la Comissió Europea i els mateixos estats, i no ha esdevingut ni de bon tros prioritària. Països com Espanya i Finlàndia van publicar els seus plans nacionals d'adaptació abans que no es desenvolupessin el *Llibre verd* i el *Llibre blanc de l'adaptació al canvi climàtic a la UE*, un fet que demostra les dificultats de coordinar diferents perspectives i interessos respecte de l'adaptació entre els països de la UE. El desplegament del *Llibre blanc* encara és incipient i fins ara el principal paper de la Direcció General del Medi Ambient de la Comissió Europea ha estat iniciar estudis sobre impactes i vulnerabilitat, i promoure discussions sobre l'adaptació en diferents àrees temàtiques sota el paraigua del Grup d'Impactes i Adaptació de la mateixa Direcció. A curt termini, la UE no es planteja el desenvolupament de cap Directiva d'adaptació, ni tampoc l'assignació específica de recursos econòmics a països, regions i sectors econòmics de la UE potencialment més vulnerables al canvi climàtic (EEA, 2008). Això no vol dir que sigui descartable la creació d'un marc normatiu més ambiciós mitjançant la reforma de les directives actuals en determinades polítiques i sectors potencialment més sensibles al canvi climàtic.

El tarannà de Catalunya pel que fa a l'adaptació no ha estat fins ara diferent de l'europeu. Malgrat l'existència del Pla d'adaptació espanyol, el Govern català no considera el desenvolupament d'un pla rector en aquest àmbit fins més enllà del 2012, a fi de concentrar esforços i recursos en la mitigació (Generalitat de Catalunya, 2008). Així doncs, fins ara, el Govern ha impulsat l'elaboració d'estudis de vulnerabilitat i d'escenaris, però no s'han destinat recursos a mesures concretes en àmbits sectorials determinats. En el món empresarial, l'adaptació encara és una qüestió majoritàriament desconeguda, tant a Catalunya com a la resta de l'Estat, amb l'excepció d'empreses vinculades als sectors vinícola i de l'aigua que estan invertint recursos a planificar d'acord amb les condicions climàtiques del futur. Cal, doncs,

esperar i encoratjar que, durant els propers anys, tant el Govern de la Generalitat com les administracions locals i la societat civil s'esforcin a comunicar els principis bàsics de l'adaptació i s'iniciïn programes que defineixin i executin accions per reduir la vulnerabilitat i promoure l'adaptació de determinats sectors i sistemes socioecològics.

En conclusió, Catalunya encara té un marge ampli de millora en els àmbits de la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic. Cal promoure els instruments fonamentats en el mercat d'emissions entre les PIME i els sectors difusos, per tal que aquests últims no prevegin només les reduccions voluntàries d'emissions, sinó també la «neutralitat» i apostin per invertir en projectes de reducció d'emissions, tot maximitzant els esforços de mitigació globals. Cal aprofundir en el desplegament dels instruments de planificació i econòmics existents, i tenir en compte que això no serà suficient si no es multipliquen els esforços —financers, tècnics, de recerca i de sensibilització— i si no es desplega un règim de fiscalitat ambiental més ambiciós, que pugui generar més recursos per retroalimentar l'estalvi i l'eficiència energètica a nivell multisectorial. L'avaluació continuada d'impactes i vulnerabilitat de diferents sectors econòmics i socials a Catalunya ha de complementar el desplegament d'accions adaptatives cost-efectivitat, mitjançant el marc normatiu i els instruments adequats.

Referències

- ADGER, W.N.; ARNELL, N.W.; TOMPKINS, E.L. (2005). «Successful adaptation to climate change across scales». *Global Environmental Change*, núm. 15, pàg. 77-86.
- ADGER, W.N.; LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. (ed.) (2009a). *Adapting to Climate Change. Thresholds, Values, Governance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ADGER, W.N.; DESSAI, S.; GOULDEN, M.; [et al.]. (2009b). «Are there social limits to adaptation to climate change?» *Climatic Change*, núm. 95, pàg. 335-354.
- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ACA) (2009). *Aigua i Canvi Climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Disponible a: <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca/>.

- AJUNTAMENT DE BARCELONA (2001). *Les Festes Més Sostenibles*. «Guies d'Educació Ambiental», núm. 6.
- (2010). *Guia de Congressos Més Sostenibles*. «Guies d'Educació Ambiental», núm. 35.
- ALMIRALL, V. (2009). *El Grup Bodegas Torres davant del canvi climàtic*. Presentació al Curs Canvi Climàtic i Empresa. Universitat Pompeu Fabra, 19-21 d'octubre de 2009.
- ANDERSON, K.; BOWS, A.; MANDER, S. (2008). «From long-term targets to cumulative emission pathways: Reframing UK climate policy». *Energy Policy*, núm. 36, vol. 10, pàg. 3714-3722.
- BARNETT, J.; O'NEILL, S. (2009). «Maladaptation». *Global Environmental Change*, DOI 10.1016/j.gloenvcha.2009.11.004
- BAYON, R.; HAWN, A.; HAMILTON, K. (2007). *Voluntary Carbon Markets. An International Business Guide to What They Are and How They Work*. Londres: Earthscan.
- BOYD, E.; HULTMAN, N.; TIMMONS ROBERTS, J.; [et al.]. (2009). «Reforming the CDM for sustainable development: lessons learned and policy futures». *Environmental Science and Policy*, núm 12, vol. 7, pàg. 820-831.
- BROOKS, N.; ADGER, W.N.; KELLY, P.M. (2005a). «The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation». *Global Environmental Change*, núm. 15, pàg. 151-163.
- BROOKS, N.; DI LERNIA, S.; DRAKE, N. [et al.] (2005b). «The environment-society nexus in the Sahara from prehistoric times to the present day». *The Journal of North African Studies*, núm. 304, pàg. 253-292.
- CALBÓ ANGLARILL, J. (2005). «Projeccions futures sobre el clima a Catalunya». A: LLEBOT, J. E. (ed.) *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible i Institut d'Estudis Catalans. pàg. 749-772.
- CAPOOR, K.; AMBROSI, P. (2009). *State and Trends of the Carbon Market 2009*. Washington D.C., World Bank. Disponible a: <http://carbonfinance.org>.
- (2006). *State and Trends of the Carbon Market 2006*. Washington D.C., World Bank. Disponible a: <http://carbonfinance.org>.
- (2007). *State and Trends of the Carbon Market 2007*. Washington D.C., World Bank. Disponible a: <http://carbonfinance.org>.
- (2008). *State and Trends of the Carbon Market 2008*. Washington D.C., World Bank. Disponible a: <http://carbonfinance.org>.
- CARPENTER, S.; WALKER, B.; ANDERIES, J.M.; ABEL, N. (2001). «From metaphor to measurement: Resilience of what to what?». *Ecosystems*, núm. 4, pàg. 765-781.
- CLIMATE, COMMUNITY, AND BIODIVERSITY ALLIANCE (CCBA). (2008). *Estándares para el Diseño de Proyectos de Clima, Comunidad y Biodiversidad*. Segunda edición, CCBA, Arlington, VA. Diciembre, 2008. Disponible a: www.climate-standards.org.
- CORBERA, E.; ESTRADA, M.; BROWN, K. (2009a). «How do regulated and voluntary offset-schemes compare?». *Journal of Integrative Environmental Sciences*, núm. 6, vol. 1, pàg. 25-50.
- CORBERA, E.; PUIG VENTOSA, I.; RAMOS MARTÍN, J.; CAÑELLAS BOLTÀ, S. (2009b). «Exemples d'instruments per a la gestió de la demanda d'energia». A: RAMOS MARTÍN, J. (ed.) *Ús de l'energia a Catalunya. Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana (AMEEC)*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de la Vicepresidència, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible.
- DELSALLE, J. (2009). «EU White Paper on Adaptation to Climate Change: Objectives, Strategy and Timeframe». Article presentat a la conferència Science Policy Interactions in National Adaptation Policy. Utrecht, 14 de setembre de 2009.
- DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE (DMAH) (2009). *Comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Informes anuals de seguiment d'emissions. Període de notificació 2008*. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Direcció General de Qualitat Ambiental.
- DIPUTACIÓ DE BARCELONA. (2009). *Els Plans d'Acció per l'Energia Sostenible a la Província de Barcelona. Avançament Provisional de Resultats, novembre del 2009*. Diputació de Barcelona. Disponible a: www.diba.es/mediambient/pdf/paesfullettecnico.pdf.

- EARTH NEGOTIATION BULLETIN (ENB) (2009). *Summary of the Copenhagen Climate Change Conference: 7-19 December 2009*. International Institute for Sustainable Development. Disponible a: www.iisd.ca/climate/cop15.
- ECOLOGÍA Y DESARROLLO (2009). *Carbon Disclosure Project 2009 España: las 85 mayores empresas por capitalización*. Disponible a: www.cdproject.net/CDPResults/CDP%20Spain%20Report%202009.pdf.
- ECOSECURITIES (2009). *The Carbon Management and Offsetting Trends Survey Results 2009*. Disponible a: www.ecosecurities.com/Registered/EcoCarbonSurvey2009.pdf.
- ELLIS, J.; WINKLER, H.; CORFEE-MORLOT, J.; GAGNON-LEBRUN, F. (2007). «CDM: taking stock and looking forward». *Energy Policy*, núm. 35, pàg. 15-28.
- EUROPEAN COMMISSION (EC). (2007). *Green Paper from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Adapting to climate change in Europe – options for EU action*. Disponible a: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0354:FIN:EN:PDF>.
- (2009). *Impact Assessment, Commission Staff Working Document Accompanying the White Paper Adapting to Climate Change*, SEC (2009) 387/2. Brussels: European Commission.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (2007). *Europe's Environment: The Fourth Assessment*. Copenhagen: European Environment Agency. Disponible a: www.eea.europa.eu/publications/state_of_environment_report_2007_1.
- (2008). *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment*. Joint EEA-JRC-WHO report. Disponible a: www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4/.
- FENHANN, J. (2009). *UNEP Risoe CDM/JI Pipeline Analysis and Database, December 1st 2009*. Disponible a: <http://cdmpipeline.org>.
- FUNDACIÓN ENTORNO (2008). *Adaptación: Liderazgo Empresarial Frente al Cambio Climático*. Fundación Entorno España. Disponible a: www.fundacionentorno.org/xtras/pdfs/Publicacion_ADAPTACION.pdf.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2006). *Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015*. Generalitat de Catalunya, juny de 2006. Disponible a: www.gencat.cat/economia/ambits/energia_mines/energia/pla_energia/index.html.
- (2008). *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012*. Generalitat de Catalunya, setembre de 2008. Disponible a: http://www10.gencat.net/gencat/binaris/20080930_canvi_clima_tcm32-82208.pdf.
- (2009). *Revisió del Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015*. Generalitat de Catalunya. Disponible a: www.gencat.cat/economia/ambits/energia_mines/energia/pla_energia/index.html.
- GLOBAL CARBON PROJECT (2008). *Carbon budget and trends 2007*. Disponible a: www.global-carbonproject.org.
- GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY (GEF) (2007). *Financing Adaptation Action*. Global Environment Facility, 2007. Disponible a: http://thegef.org/uploadedFiles/External_Affairs/Publications/AdaptationBooklet.pdf.
- GILLENWATER, M.; BROEKHOFF, D.; TREXLER, M.; [et al.] «Policing the voluntary carbon market». *Nature*, núm. 6, p. 85-87.
- HALLEGATE, S. (2009). «Strategies to adapt to an uncertain climate». *Global Environmental Change*, núm. 19, vol. 2, p. 240-247.
- HOLLING, C.S. (1973). «Resilience and stability of ecological systems». *Annual Review of Ecological Systems*, núm. 4, p. 1-23.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2007). «Technical Summary». A: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. [et al.] (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA (ICAEN) (2009). *Es talvi i eficiència energètica en edificis públics*. Generalitat de Catalunya, Institut Català d'Energia. Disponible a: <http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen>.

- IRAEGUI, J.J. (2009). «El sector de la transformació energètica i la generació d'electricitat». A: RAMOS MARTÍN, J. (ed.) *Ús de l'energia a Catalunya. Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana* (AMEEC). Generalitat de Catalunya, Departament de la Vicepresidència, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible.
- JORDAN, A.J.; HUITEMA, D.; VAN ASSELT, H. (2009). «Climate Change in the European Union: Confronting the Dilemmas of Mitigation and Adaptation». Article presentat a la conferència *Human Dimensions of Global Environmental Change, Earth System Governance: People, Places and the Planet*. Amsterdam, 2-6 de desembre de 2009.
- KLEIN, R.J.T.; MÖHNER, A. (2009). «Governance limits to effective global financial support for adaptation». A: ADGER, W.N.; LORENZONI, I.; O'BRIEN, K. (ed.) *Adapting to Climate Change. Thresholds, Values, Governance*. Cambridge: Cambridge University Press, pàg. 465-475.
- KOLLMUSS, A.; ZINK, H.; POLYCARP, C. (2008). *Making sense of the voluntary carbon market. A comparison of carbon offset standards*. WWF Germany, Stockholm Environment Institute, TRICORONA. Disponible a: www.global-bioenergy.org/uploads/media/0803_SEI_WWF_-_A_Comparison_of_Carbon_Offset_Standards.pdf.
- LENTON, T.M.; HELD, H.; KRIEGLER, E.; [et al.,] (2008). «Tipping elements in the Earth's climate system». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, núm. 105, pàg. 1786-1793.
- MARSHALL, N.A. (2010). «Understanding social resilience to climate variability in primary enterprises and industries». *Global Environmental Change*, núm. 20, vol. 1, pàg. 36-43.
- MATA, A. (2009). «La certificació energètica d'edificis. Situació a Catalunya». Institut Català d'Energia. Disponible a: http://www20.gencat.cat/docs/icaen/01_Estalvi%20i%20Eficiencia%20Energetica/Documents/Arxius/Certificacio%20energetica_Situacio%20a%20Catalunya_setembre09.pdf.
- METZ, B. (2008). *Implications of stabilisation of greenhouse gas concentrations. Findings from the IPCC Fourth Assessment Report*. SBSTA Workshop on IPCC AR4, June 6, 2008. Disponible a: www.ipcc.ch/pdf/presentations/briefing-bonn-2008-06/greenhouse-gas-concentrations.pdf.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO (MMA) (2006). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Disponible a: www.mma.es/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pdf/pna_v3.pdf.
- (2008). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Primer Programa de Trabajo. Primer Informe de Seguimiento*. Disponible a: www.mma.es/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pdf/inf_prog_pnac.pdf.
- (2009a). *Aplicación de la Ley 1/2005. Emisiones verificadas frente a asignaciones: año 2008*. Disponible a: www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/comercio_emisiones/com_emis_espania/pdf/bal_glo2008_may2009.pdf.
- (2009b). *Nota de prensa de la Autoridad Nacional Designada, 3 de diciembre de 2009*. Disponible a: www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/flexibilidad/and/and.htm.
- (2009c). *Listado de Proyectos Aprobados por la Autoridad Nacional Designada por España*. Disponible a: www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/flexibilidad/and/pdf/proy_apro.pdf.
- (2010). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España. Edición 2010 (Serie 1990-2008). Sumario de Resultados*. Disponible a: www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/pdf/Sumario_de_Inventario_Nacional_Emisiones_GEI_serie_1990-2008.pdf.
- MÖHNER, A.; KLEIN, R.J.T. (2007). *The Global Environment Facility: Funding for Adaptation or Adapting to Funds? SEI Working Paper*. Stockholm: Stockholm Environment Institute, Disponible a: www.sei-international.org.
- NELSON, D.R. (2009). «Conclusions: transforming the world». A: Adger, W. N.; Lorenzoni, I.; O'Brien, K. (ed.) *Adapting to Climate Change. Thresholds, Values, Governance*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 25-41.

- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (OCCC) (2008). *Sèrie d'Estudis de Base per a la Posterior Definició d'una Estratègia de Prevenció i d'Adaptació al Canvi Climàtic a Catalunya. Estudi de Base N1: Delta de l'Ebre*. Disponible a: http://mediambient.gencat.cat/cat/el_medio/C_climatic/estudi_DEbre.jsp.
- (2009). *Desplegament del Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012, Esborrany (26-11-2009)*. Generalitat de Catalunya, Desembre de 2009.
- ORLOVE, B. (2005). «Human adaptation to climate change: a review of three historical cases and some general perspectives». *Environmental Science and Policy*, núm. 8, p. 589-600.
- PAAVOLA, J.; ADGER, W.N. (2006). «Fair adaptation to climate change». *Ecological Economics*, núm. 56, p. 594-609.
- PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P. [et al.] (2007). «Technical Summary». A: PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; [et al.] (ed.) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- PERSSON, A.; KLEIN, R.J.T.; KEHLER SIEBERT, C. [et al.] (2009). *Adaptation Finance under a Copenhagen Agreed Outcome. Research Report, Stockholm Environment Institute*. Disponible a: www.sei-international.org.
- PETERSON, G. (2009). «Ecological limits of adaptation to climate change». A: Adger, W.N.; Lorenzoni, I.; O'Brien, K. (ed.) *Adapting to Climate Change. Thresholds, Values, Governance*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 25-41.
- PUIG VENTOSA, I. (2004). *Fiscalitat ambiental local*. Fundació Carles Pi i Sunyer d'Estudis Autonòmics i Locals. Diputació de Barcelona.
- RAHMSTORF, S. (2009). «Cambio Climático debido a los gases de efecto invernadero ¿cuánto tiempo nos queda?». A: LA VANGUARDIA DOSSIER (ed.) *El Cambio Climático. El reto de la humanidad*. Octubre-diciembre de 2009. p. 7-15.
- RAMOS MARTÍN, J. (2009). «L'energia primària a Catalunya». A: RAMOS MARTÍN, J. (ed.) *Ús de l'energia a Catalunya. Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana (AMEEC)*. Generalitat de Catalunya, Departament de la Vicepresidència, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible.
- RAUPACH, M.R.; MARLAND, G.; CIAIS, P. [et al.] (2007). «Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, núm. 104, vol. 24, p. 10288-10293.
- RAYNER, T.; JORDAN, A. (2009). «Adaptation to Climate Change: An Emerging EU Policy». Article presentat a la conferència *Human Dimensions of Global Environmental Change, Earth System Governance: People, Places and the Planet*, Amsterdam, 2-6 de desembre de 2009.
- ROCA JUSMET, J.; PUIG VENTOSA, I.; RODRIGRO ARIBAU, J. [et al.] (2007). «Fiscalitat i Canvi Climàtic». ENT Environment and Management i Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- ROSEMBUJ, E.; ESQUERRA, L. (2005). «Instruments econòmics. Flexibilitat en el disseny de polítiques de canvi climàtic: l'ús de mecanismes de mercat a Catalunya». A: LLEBOT, J. E. (ed.) *Primer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible i Institut d'Estudis Catalans, p. 749-772.
- SCHELLNHUBER, H. J.; CRAMER, W.; NAKICENOVIC, N. [et al.] (eds.) (2006). *Avoiding dangerous climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SCHNEIDER, S. H.; LANE, J. (2006). «Dangers and thresholds in climate change and the implications for justice». A: ADGER, W. N.; PAAVOLA, J.; HUQ, S.; MACE, M. J. (eds.) *Fairness in Adaptation to Climate Change*. Cambridge: MIT Press, p. 23-51.
- SMIT, B.; WANDER, J. (2006). «Adaptation, adaptive capacity and vulnerability». *Global Environmental Change*, núm. 16, p. 282-92.
- SULLIVAN, R.; RUSSELL, D.; BELOE, S. (2010). «The adaptation imperative». *Environmental Finance*, núm. 3, vol. 11, p. 46-47.

THE CARBON NEUTRAL COMPANY (2009). *The CarbonNeutral Protocol. A framework for effective action on climate change*. London, UK.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC) (2008). *Investment and financial flows to address climate change: an update*. Disponible a: <http://unfccc.int/resource/docs/2008/tp/07.pdf>.

WANG, T.; WATSON, J. (2007). «Who owns China's emissions?». *Tyndall Centre Briefing*, note 23. Norwich, United Kingdom. Disponible a: www.tyndall.ac.uk/publications/briefing_notes/briefing_notes.shtml.

16. Agricultura, ramaderia i silvicultura

M. Teresa Sebastià^{1,2}, Rosa Llurba¹, Josefina Plaixats³, Glòria Domínguez¹ i Jaume Lloveras⁴

Amb la col·laboració de Pau Vericat¹, Lluís Martín², Joan Costa², Míriam Piqué¹ i Alejandro J. Ortiz

¹ Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (Solsona)

² Departament d'Hortofructicultura, Botànica i Jardineria. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida.

³ Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Universitat Autònoma de Barcelona

⁴ Centre Universitat de Lleida –IRTA

M. Teresa Sebastià Doctora en Ciències Biològiques per la Universitat de Barcelona, va fer un postdoctorat sobre la resposta de les plantes al canvi climàtic a la Universitat de Harvard els anys 1995-1997. És professora titular de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida des de 1998, i dirigeix un grup de recerca al Centre Tecnològic Forestal de Catalunya des de 1997. Ha estat professora convidada a la Universitat de Harvard i a la Universitat College Dublin. Actualment és membre, entre d'altres, del comitè espanyol del *Global Land Project*, i de DIVERSITAS, del comitè assessor de l'Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic, i del Grup d'Experts en Canvi Climàtic a Catalunya. Actualment desenvolupa tasques de coordinació de diversos projectes sobre els efectes del canvi climàtic i d'ús del sòl sobre la dinàmica del carboni i la biodiversitat en ecosistemes agrícoles, pastorals i forestals a la península ibèrica i a l'Àfrica. Té més de cent publicacions científiques, incloent-hi llibres, capítols de llibres i articles.

Rosa Llurba Huguet Enginyera agrònoma en Gestió Ambiental per la Universitat de Lleida, va completar els estudis a la Universitat de Wageningen, on es va especialitzar en agroecologia i disseny de prototipus de sistemes agrícoles ecològics i de baix *input*. Ha participat en diversos projectes de recerca nacionals i internacionals basats en la relació entre biodiversitat i funció en agroecosistemes i pastures, incloent-hi l'estudi de la diversitat de plantes i artròpodes als marges; diversitat cultivada en sistemes farratgers mixtos, i l'experiment OPS, que avalua l'efecte de la diversitat en diverses funcions ecosistèmiques. Alguns d'aquests treballs els ha realitzat en col·laboració amb investigadors de la Universitat College Dublin.

Josefina Plaixats i Boixadera (Manresa, 1954). Doctora en Ciències Biològiques per la Universitat Autònoma de Barcelona, ha estat professora de Fisiologia Vegetal i des de 1987 és professora titular d'Agricultura del Departament de Ciència Animal i dels Aliments de la UAB. La seva recerca s'inicia en el camp de la Biologia Molecular en plantes a la Universitat de Nottingham, i

posteriorment treballa en la relació sòl-planta-animal-atmosfera i aprofitament i gestió dels recursos naturals. És membre del Grup de Recerca en Remugants i ha estat investigadora col·laboradora de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la UAB. Des de l'any 2000 la seva recerca se centra en la gestió i restauració d'ecosistemes pastorals i la seva capacitat de segrest i acumulació de carboni. Ha dirigit diversos projectes de recerca i ha participat en projectes europeus. Ha publicat una cinquantena d'articles científics i alguns capítols de llibre. És membre de la Junta directiva de la Institució Catalana d'Estudis Agraris.

Glòria Domínguez (Badalona, 1971). Enginyera tècnica agrícola, enginyera de Forests, màster en Economia Ecològica i Ambiental, i doctora per la Universitat Albert-Ludwig de Freiburg (Alemanya) des de l'any 2007. A banda, té formació específica en direcció d'empreses i lideratge. Des de l'any 1998 treballa al CTFC, després d'una etapa vinculada al sector privat. Ha ocupat els càrrecs de responsable de l'Àrea de Política Forestal i Desenvolupament Rural, i de directora de recerca del centre, i des de gener de 2010 és la directora general del CTFC. En l'exercici de les tasques corresponents a aquests càrrecs, ha col·laborat en diversos projectes de recerca i transferència, tant d'abast nacional com internacional. En l'àmbit internacional, ha participat en projectes del IV, V, VI i VII programa marc de recerca de la Unió Europea, Interreg, Life, etc, i ha estat molt activa en diferents xarxes i iniciatives europees. Ha format part de diversos comitès científics relacionats amb el medi ambient i el desenvolupament rural, i en l'actualitat és coordinadora del grup de Política Forestal de la *Sociedad Española de Ciencias Forestales*.

Jaume Lloveras Vilamanyà. Doctor Enginyer Agrònom, Ph.D. en Producció i Fisiologia de Cultius per la Iowa State University (USA) i catedràtic de Producció Vegetal de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida. Ha estat investigador del *Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias* al centre de Mabegondo (La Coruña) i a l'IRTA a Reus i a Lleida, on ha treballat en producció de farratges, cereals d'estiu i d'hivern, lleguminoses, rotacions de conreus, i en alguns aspectes de fruiters de fruita seca. Les seves línies de treball actuals principals són l'agronomia i producció d'alfals, l'adobat mineral i orgànic del blat de moro, i les rotacions de conreus.

Aquest capítol s'ha beneficiat de l'amabilitat i la inestimable experiència de diversos col·legues i amics, especialment Lluís Coll i Pere Casals. Els autors volen fer esment especial de les persones que han contribuït als projectes desenvolupats des de l'Àrea d'Ecologia Vegetal i Botànica Forestal del CTFC. Aquest treball ha estat possible gràcies al suport de diverses institucions i projectes, principalment el Grup d'Experts sobre Canvi Climàtic de Catalunya i el projecte CARBOCAT de la Generalitat de Catalunya, els projectes CARBOMONT i CarboEurope, respectivament, del V i VI Programa Marc de la Unió Europea, els projectes CARBOPAS i CARBOAGROPAS del Ministerio de Ciencia y Tecnología, el projecte CARBOMONT de l'INIA, els projectes D-SPRING i OPS del Ministerio del Medio Ambiente, la Fundació Territori i Paisatge, la Paeria de Lleida, el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya i la Universitat de Lleida.

Resum	681
16.1. Introducció	683
16.1.1. Rellevància del sector agrari	683
16.1.2. Cap a una nova agronomia del canvi	683
16.1.3. Models conceptuals del canvi climàtic a Catalunya	684
16.2. El sector agrari a Catalunya: estat actual	687
16.2.1. Metodologia	687
16.2.2. Les superfícies agràries de Catalunya i llur evolució	687
16.2.3. Producció agrícola actual a Catalunya	690
16.2.4. Situació actual de la ramaderia a Catalunya	695
16.2.5. Situació actual de la indústria agroalimentària a Catalunya	699
16.2.6. Principals característiques silvícoles actuals dels boscos catalans	699
16.3. Amenaces del canvi climàtic a les activitats agrícoles, ramaderes i forestals	701
16.3.1. Efectes directes del clima	701
16.3.1.1 Efectes sobre la producció vegetal	701
16.3.1.2 Efectes sobre la producció animal	702
16.3.2. Efectes indirectes per respostes biòtiques al canvi climàtic: invasions, malalties i plagues	704
16.3.3. Efectes indirectes de la temperatura sobre l'increment de les pertorbacions: incendis forestals	706
16.3.4. Efectes indirectes de la temperatura sobre l'increment de les pertorbacions: erosió del sòl i desertificació	707
16.4. Vulnerabilitats del sistema agrari a Catalunya	707
16.4.1. Vulnerabilitats climàtiques	707
16.4.2. Vulnerabilitats davant de pertorbacions biòtiques	708
16.4.3. Vulnerabilitats davant de pertorbacions abiòtiques	709
16.4.4. Vulnerabilitats socioeconòmiques	709
16.5. Capacitat i oportunitat de mitigació dels sistemes agraris de Catalunya	711
16.5.1. Capacitat de mitigació dels sistemes agraris catalans: increment de la capacitat de segrestar carboni	711
16.5.1.1. Segrest de carboni a sistemes agrícoles i ramaders	711
16.5.1.2. Segrest de carboni a sistemes forestals	712
16.5.2. Oportunitat de mitigació dels sistemes agraris catalans: reducció de gasos amb efecte d'hivernacle	712

16.5.2.1. Producció vegetal	713
16.5.2.2. Producció animal	714
16.5.3. Oportunitat de mitigació dels sistemes agraris catalans: transport i combustibles renovables	714
16.5.4. Oportunitat de mitigació dels sistemes agraris catalans: construcció, instal·lacions i alternatives energètiques renovables	715
16.6. Capacitat i oportunitat d'adaptació dels sistemes agraris a Catalunya	716
16.6.1. Capacitat d'adaptació	716
16.6.1.1. Canvis tecnològics en sistemes agrícoles i ramaders	716
16.6.1.2. Canvis d'espècies i del model de gestió forestals	719
16.6.2. Oportunitat d'adaptació	720
16.6.2.1. Canvi en el model productiu	720
16.6.2.2. Canvi en els models energètic i socioeconòmic	721
16.6.2.3. Canvi en els hàbits alimentaris i en els valors de consum	722
16.7. Els sectors agrícola, ramader i forestal a Catalunya: perspectives de futur sota condicions de canvi climàtic	725
16.7.1. Impactes del canvi climàtic a Catalunya	725
16.7.1.1. Impactes en els rendiments i la qualitat agraris	725
16.7.2. Impacte en la ramaderia	726
16.7.3. Impactes sobre els boscos de Catalunya	726
16.7.4. Distribució geogràfica de la producció agrària sota canvi climàtic	727
16.8. Observacions finals: reptes i oportunitats per a l'agricultura i la silvicultura catalanes en el context del canvi climàtic	729
Referències	730
Annex. Problemàtica dels principals sistemes agraris catalans en condicions de canvi climàtic	739
A.1. Cereals	739
A.2. Conreus hortícoles i en hivernacle	741
A.3. Cultius llenyosos	743
A.4. Farratges	744
A.5. Prats de muntanya	746
A.6. Altres sistemes pastorals	748
A.7. Ramaderia	749
A.8. Sistemes silvícoles	751
A.9. Indústries agroalimentàries	756
Referències	757

Resum

L'agricultura, la ramaderia i la silvicultura representen solucions tecnològiques desenvolupades per assegurar la disponibilitat d'aliments, fibres i fusta. Tot i que actualment les activitats agràries, sense comptar la indústria, tenen un pes econòmic baix a Catalunya, el seu valor estratègic i territorial és molt elevat, ja que proporcionen nombrosos béns i serveis ecosistèmics directes i indirectes, i ocupen més del 90% de la superfície de Catalunya, incloent-hi la dedicació agrícola, ramadera i forestal.

Entre els serveis indirectes hi ha la conservació del sòl i de la seva fertilitat, regulació climàtica, regulació hídrica, el manteniment de la qualitat de l'aigua, el manteniment de la biodiversitat, la provisió de recreació, la generació de paisatge, etc., a més de la lluita contra el canvi climàtic, si bé cal tenir present que les activitats agrícoles i ramaderes són responsables d'una proporció alta de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, principalment de les emissions difoses. Per aquest motiu un objectiu general seria reduir les emissions i augmentar la capacitat de captació, de manera que s'aconsegueixi un balanç favorable que permeti augmentar el segrest net de carboni i nitrogen als ecosistemes, disminuint així les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle més importants.

L'adaptació a les noves condicions del canvi climàtic porta al desenvolupament d'una nova agronomia que superi els paradigmes productivistes, i fins i tot els de l'agronomia sostenible; que sigui holística, proactiva i radical en el seu compromís de lluita contra el canvi climàtic; que permeti assegurar les necessitats bàsiques de les generacions actuals i de les futures en un món en canvi accelerat, mantenint un benestar distribuït equitativament en el temps i en l'espai; i que tingui en compte els béns i serveis directes i indirectes dels ecosistemes agraris.

Cal estimular la capacitat de canviar els valors de les societats, incloent-hi els costums alimentaris, adaptant aquests valors a la realitat productiva i ambiental regnant. S'han d'analitzar i modificar els discursos de la societat sobre la

problemàtica del canvi climàtic per poder-los utilitzar en la lluita contra el canvi climàtic; si s'escau, cal promoure discursos nous. S'haurien de desenvolupar mesures pràctiques concretes descendents (*top-down*), dels gestors cap als ciutadans, i ascendents (*bottom-up*), promogudes pels ciutadans, aplicables a nivell individual, local i regional, i que enllacin amb les mesures supranacionals mitjançant mecanismes de retroalimentació.

El flux de productes agroalimentaris i forestals pot considerar-se com un sistema de quatre bucles mútuament interconnectats: 1) producció vegetal: aliments, farratges, fusta, fibra, etc.; 2) producció animal: cria de bestiar per a carn, ous, llet i derivats, etc.; 3) indústria de transformació alimentària; 4) consum humà. La connectivitat dels bucles permet que d'una banda es pugui regular l'oferta agrària local amb costos reals que portaran a preus reals, els quals alhora regularan la demanda, o ajudes dirigides a la consecució dels objectius; i de l'altra, permet incidir sobre els costums d'alimentació i consum de la societat, de manera que s'adapti l'oferta a les circumstàncies de canvi climàtic actuals, i es modifiqui la demanda per sensibilització de la població. Es pot determinar quins són els compartiments clau del sistema, i estimar per a cadascun d'ells les vulnerabilitats enfront del canvi climàtic, i on es pot incidir amb més efectivitat per tal d'esmoreir els impactes esperats.

La problemàtica del canvi climàtic a Catalunya pot conceptualitzar-se també mitjançant un sistema de cinc components interrelacionats, quatre dels quals —amenaces, vulnerabilitats, mitigació i adaptació— giren entorn del cinquè, els impactes.

Catalunya compta amb una gran diversitat d'ambients i condicions climàtiques. Les modificacions amb el canvi climàtic de les condicions generals dels factors que influeixen en el procés productiu poden portar en algunes zones a un empitjorament de les condicions per al creixement vegetal i per a la producció animal, tot i que en altres poden tenir un efecte beneficiós, de

manera que es pot produir certa compensació de la productivitat global. Els condicionants productius climàtics repercuteixen alhora sobre la biodiversitat i les pertorbacions biòtiques, incloent-hi espècies invasores, malalties i plagues, que poden afectar tant la producció vegetal com l'animal, i sobre les pertorbacions abiòtiques, com incendis forestals i erosió del sòl.

En conjunt:

- a) Es d'intèrès de tots els estaments de la societat el treballar conjuntament per desenvolupar alternatives, trobar solucions i enfrontar-se als reptes que el canvi climàtic representa.
- b) Existeixen moltes incerteses sobre el canvi climàtic i les seves conseqüències per als sistemes agraris, però hauria de prevaldre el principi de precaució; els canvis vindran imposats per les circumstàncies, però poden planificar-se amb anticipació.
- c) El canvi climàtic sens dubte comportarà compromisos i eleccions, i en un món globalitzat, els balanços no sempre són a l'abast o són clars.
- d) Cal afavorir l'eficiència de la transformació energètica en sistemes intensius (cultius i ramaderia; carn blanca i producció làctia preferentment), i promoure la producció de carn ecològica de qualitat (vacú, oví i caprí i equí) en sistemes extensius en zones marginals (zones àrides i de muntanya), amb valors afegits de biodiversitat, béns i serveis.
- e) Cal afavorir la diversitat sembrada en el temps (policultius) i en l'espai (rotacions).
- f) S'han de promoure mesures de conservació del sòl en zones on la disminució de la productivitat desaconsella l'ús agrícola, afavorint les activitats de ramaderia extensiva moderada, l'ús cinegètic, la conservació del patrimoni natural i la biodiversitat.
- g) Cal combinar els usos agraris i els energètics; la introducció de mètodes d'obtenció d'energia renovable a les explotacions és fonamental.
- h) S'ha de promoure la gestió de les masses forestals i la planificació contra incendis, l'ús de biocombustibles, el manteniment dels boscos madurs, i la protecció de boscos no gestionats amb finalitat de conservació, alhora que es potencia l'ús multifuncional dels altres boscos no destinats específicament a conservació.
- i) Cal una anàlisi detallada sobre la integració de la xarxa producció-indústria-consum sota consideracions de canvi climàtic.
- j) Cal una avaluació correcta dels balanços de gasos amb efecte d'hivernacle, aigua i energia associats a les indústries en comparació amb processos particulars o alternatives globalitzades.

16.1. Introducció

16.1.1. Rellevància del sector agrari

El sector agrari engloba tres activitats socioeconòmiques rellevants a Catalunya: agrícoles, ramaderes i silvícoles, a més de les indústries de transformació associades. En l'actualitat, sense considerar l'agroindústria, el sector agrari constitueix directament una part relativament petita de les activitats econòmiques als països desenvolupats, la qual cosa amaga la seva significació real per a la societat en valor territorial, estratègic i ambiental. A Catalunya, aquestes tres activitats representen al voltant de l'1% del PIB, xifra similar a la mitjana de la Unió Europea (IDESCAT 2008, EC 2009). La proporció puja per sobre del 3% del PIB català si es consideren també les indústries agroalimentàries, les quals constitueixen un 17% del valor afegit brut (VAB) industrial català, segons el qual la indústria agroalimentària constitueix el primer sector a Catalunya. D'altra banda, el sector agrari té un pes del 2,2% sobre la població ocupada, xifra petita en comparació amb el 4,5% mitjà espanyol i de la UE25, i el 5,8% mitjà de la UE27 (DAR 2008, IDESCAT 2008). Aquesta xifra puja fins al 20% quan es consideren les indústries de transformació (DAR 2006).

Però les dades macroeconòmiques no reflecteixen la importància real del sector agrari. Des d'una perspectiva més ampla, més enllà de l'economia de mercat i dels darrers dos-cents anys d'història, aquest sector adreça aspectes i funcions realment necessaris i imprescindibles per a la supervivència humana. Els sistemes d'organització social varien en el temps i en l'espai, però les necessitats bàsiques dels humans són les mateixes. Entre elles, i de manera imprescindible per a la supervivència, alimentar-se i protegir-se de les condicions ambientals desfavorables. Aquestes necessitats es cobreixen bàsicament amb aliments, fibres i fusta. L'agricultura, la ramaderia i la silvicultura representen solucions tecnològiques desenvolupades pels humans en temps relativament recents de la seva història per assegurar-ne la disponibilitat. Les activitats agràries afecten doncs al benestar i la salut pública. Per tant, el sector agrari per força perdurà. D'altra banda, el sector agrari té una repercussió desproporcionada respecte del seu volum eco-

nòmic pel que respecta a l'ús del sòl, la distribució del paisatge, i l'ocupació i el manteniment del territori (Rounsevell *et al.*, 2005).

El subministrament d'aliments, fibra i fusta en quantitat i qualitat constitueixen béns i serveis directes que els ecosistemes agrícoles i silvícoles han de procurar. Però aquests ecosistemes, a més, produeixen una gran quantitat de béns i serveis indirectes, ja que contribueixen a la conservació del sòl i la seva fertilitat, la regulació climàtica, la regulació hídrica, el manteniment de la qualitat de l'aigua, el manteniment de la biodiversitat, la provisió de recreació, la generació de paisatge, el manteniment de la població rural, etc. (Stoate *et al.* 2009), i també la lluita contra el canvi climàtic. Aquests béns i serveis sovint no apareixen reflectits en el PIB perquè estan fora del sistema monetari. Per aquestes raons, la societat sovint els pren per regalats i no en reconeix la importància (de Groot, 1994).

Ara bé, el desenvolupament de les activitats agrícoles, ramaderes i silvícoles representa també un risc ambiental que es pot resumir en pèrdua de sòl i de la seva fertilitat, contaminació de les aigües, eutròfia de les conques hídriques, emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, i amenaces a la biodiversitat. Per tant, les activitats agràries afecten la qualitat del medi ambient en tots dos sentits, com a protectores de l'ambient, i com a amenaces al medi natural i generadores de residus no desitjats. En les condicions actuals, l'agricultura, la ramaderia i la silvicultura poden representar, doncs, aliats importants en la lluita contra el canvi climàtic.

16.1.2. Cap a una nova agronomia del canvi

Per les raons abans esmentades, el sector agrari haurà de passar per grans transformacions respecte dels paradigmes productivistes de l'agronomia industrial, superant fins i tot paradigmes ambientalistes més moderns de l'agronomia sostenible. Els paradigmes productivistes de la revolució verda tenien com a objectiu principal l'obtenció d'aliments i d'altres productes, però la conseqüència d'aquesta política molt exitosa des del punt de vista productiu (Albaiges i Romagosa, 2002) ha estat, segons alguns autors, la pol·lució de les aigües, i l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle (Lichtfouse *et al.*, 2009). Als

anys 80 es desenvolupà el concepte de sostenibilitat (CMMAD, 1988). Segons definició de la *American Society of Agronomy*, agronomia sostenible és aquella que al llarg del temps augmenta la qualitat de l'ambient, proveeix aliments per a les necessitats humanes, és econòmicament viable, i augmenta la qualitat de vida de l'agricultor i la societat. L'agronomia sostenible emfatitza la utilització de pràctiques segures i respectuoses amb el medi ambient i considera que no es pot acceptar que la maximització de la productivitat porti a un món insà i inhòspit per als humans (Lichtfouse *et al.*, 2009). Sota condicions de canvi climàtic, cal el desenvolupament d'una nova agronomia, holística, proactiva i radical en el seu compromís de lluita contra el canvi climàtic; que permeti assegurar les necessitats bàsiques de les generacions actuals i de les futures en un món en canvi accelerat, mantenint un cert grau de benestar distribuït equitativament en el temps i en l'espai; i que tingui en compte els béns i serveis directes i indirectes dels ecosistemes agraris, incloent-hi la reducció de gasos amb efecte d'hivernacle i la mitigació del canvi climàtic.

Els efectes del canvi climàtic sobre el món agrari són, en conjunt, incerts, variats i complexos, i presenten moltes interaccions entre ells i amb altres factors culturals, socioeconòmics, polítics, etc. (Stoate *et al.*, 2009). Simultàniament amb el canvi climàtic s'estan produint canvis en l'ús del sòl a nivell mundial, en un conjunt de fenòmens interactius coneguts com a canvi global (Votousek, 1994). El canvi climàtic constitueix un repte i una oportunitat per demostrar l'adaptabilitat de l'espècie humana. El *Millennium Ecosystem Assessment* conclou que les nostres societats no són sostenibles (MEA, 2005). Calen canvis estructurals i una capacitat molt elevada d'adaptació per tal de mantenir uns nivells de benestar acceptables i alhora sostenibles per a tothom arreu (Reguant, 2009). La manera en què les societats han sabut enfrontar-se en el passat als problemes ambientals i a l'obtenció de recursos sovint n'han determinat la persistència o l'extinció. L'èxit ha implicat, de vegades, la capacitat de canviar els valors socials, incloent-hi els costums alimentaris, adaptant-los a la realitat productiva i ambiental regnant (Diamond, 2005).

S'han d'analitzar els discursos de la societat sobre la problemàtica del canvi climàtic per poder-los utilitzar en la lluita contra el canvi climàtic (Fleming i Vanclay, 2009); si s'escau, cal promoure discursos nous. La societat ha de poder entendre que, tot i la complexitat del problema, tothom pot contribuir a solucionar-lo. S'han de desenvolupar mesures pràctiques, concretes i descendents (*top-down*), promogudes pels gestors cap als ciutadans, i mesures ascendents (*bottom-up*), proposades pels ciutadans als gestors, que es pugin aplicar a nivell individual, local i regional, i que enllacin amb les mesures supranacionals mitjançant bucles de retroalimentació.

16.1.3. Models conceptuals del canvi climàtic a Catalunya

El flux de productes agroalimentaris i forestals es pot considerar com un sistema de quatre bucles mútuament interconnectats (Risku-Norja i Mäenpää, 2007): 1) producció vegetal (aliments, farratges, fusta, fibra...); 2) producció animal (cria de bestiar per a carn, ous, llet i derivats...); 3) indústria de transformació, i 4) consum humà (fig. 1). Dins del sector agrari es pot determinar els compartiments clau del sistema de bucles, per exemple a nivell regional, i estimar per a cadascun d'ells les vulnerabilitats enfront del canvi climàtic i on es pot incidir amb més efectivitat per tal d'esmoreir els impactes esperats. Un dels objectius principals d'aquest capítol és proporcionar una revisió bibliogràfica i un llistat de recomanacions per al sector agrari per afrontar el canvi climàtic, però també un llistat de mesures per als ciutadans com a consumidors d'aquests productes i, per tant, conductors de la producció agrària (fig. 1).

La problemàtica del canvi climàtic a Catalunya pot conceptualitzar-se mitjançant un sistema de cinc components interrelacionats, quatre dels quals (amenaces, vulnerabilitats, mitigació i adaptació) giren en torn del cinquè, els impactes (fig. 2). Les vulnerabilitats resulten del balanç entre els factors de risc o febleses i els factors d'oportunitat o forteses, derivats de les condicions preexistents (fig. 3).

Els sistemes agraris poden tenir un paper significatiu en la mitigació del canvi climàtic per la

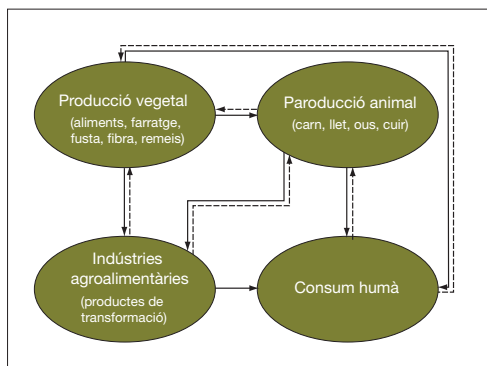


Figura 1. Fluxos de productes agroalimentaris i forestals entre els compartiments del sistema agronòmic. Cadascun dels compartiments representa alhora un bucle de processos. El sistema es basa en la producció vegetal, en forma d'aliments vegetals (fruites, verdures, cereals, llegums), aliments per al bestiar (pinsos i farratges), fusta i altres productes silvícoles no fustaners, fibres, i medicines naturals i remeis, entre d'altres. Aquesta producció pot ser consumida directament pels humans o pel seu bestiar; en aquest cas contribueix a la producció animal per a l'obtenció de productes càrnics, làctics, ous, i cuir i d'altres fibres animals. Alternativament, producció vegetal i animal poden entrar dins del bucle de les indústries agroalimentàries i de transformació. L'agricultura s'ocuparia de l'obtenció de productes dins del bucle de producció primària no silvícoles destinats al consum humà (conreus); la silvicultura, dels productes obtinguts dins del bucle de producció primària silvícoles, fustaners (fusta, llenya) i no fustaners (bolets, plantes medicinals); la ramaderia, dels productes del bucle de producció primària que passen a l'alimentació animal i dels productes animals. Els prats i pastures ocuparien una posició entre totes tres ciències, ja que fan part de la forest, però constitueixen producció vegetal disponible per al consum animal. Tots els sistemes nodreixen finalment el consum humà (línies contínues), però alhora el consum humà pot modificar la intensitat dels fluxos (línies discontinües). El consum humà dependrà de la nutrició humana, i també de factors culturals i socials. En condicions de canvi climàtic, es poden desenvolupar mesures de mitigació i d'adaptació associades a cadascun dels bucles i les seves interaccions, i incidir sobre el consum per tal de modificar les relacions entre sistemes.

seva capacitat d'acumular carboni, nitrogen i altres nutrients als diversos compartiments de l'ecosistema, com per exemple, a la biomassa aèria dels boscos (Gracia *et al.*, 2004), al sòl de boscos i pastures (Vallejo *et al.*, 1997; Alcañiz *et al.*, 2010; Sebastià *et al.*, 2008a), i mitjançant l'enterrament dels residus dels conreus (Hillel i Rosenzweig, 2009): és el que s'anomenarà la capacitat de mitigació (fig. 2). Alhora, proporcionen una gran oportunitat d'incrementar el potencial de mitigació, ja que les activitats agrícola i rama-

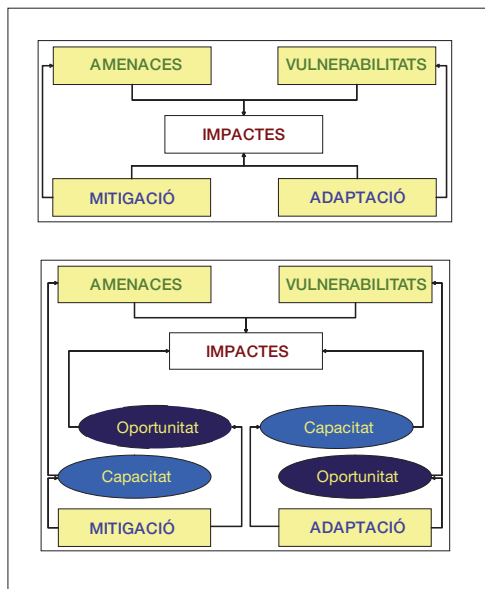


Figura 2. Esquema conceptual dels components del canvi climàtic i l'agricultura a Catalunya. a) Els impactes sobre l'agricultura dependran de les amenaces climàtiques externes i les vulnerabilitats internes del sistema agrari, i al mateix temps, el balanç final dependrà de les mesures de mitigació i adaptació que s'implementin. b) Aquestes poden tancar el bucle d'interconnexions segons les capacitats i oportunitats respectives. Les capacitats serien actuacions positives locals directes sobre el sistema agrari, i les oportunitats anirien adreçades al sistema social i socioeconòmic contextual.

dera sobretot són responsables d'una proporció alta de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, principalment de les emissions difoses (Goldsmith, 2005), incloent-hi diòxid de carboni (CO_2), òxids de nitrogen (N_xO), i metà (CH_4). És el que s'anomenarà l'oportunitat de mitigació (fig. 2), mitjançant la reducció d'emissió. Les principals fonts d'aquests gasos en l'agricultura provenen de l'ús dels combustibles fòssils en les activitats agrícoles, mineralització de la matèria orgànica dels sòls associada al llaurat, la crema de residus agrícoles i forestals (els primers, actualment prohibits segons normativa), cria de bestiar i gestió dels residus ramaders, i ús de fertilitzants nitrogenats, entre d'altres (Reddy i Hodges, 2000). L'objectiu general seria reduir les emissions i augmentar la capacitat de captació, de manera que se n'obtingui un balanç favorable que permeti augmentar el segrest net de carboni

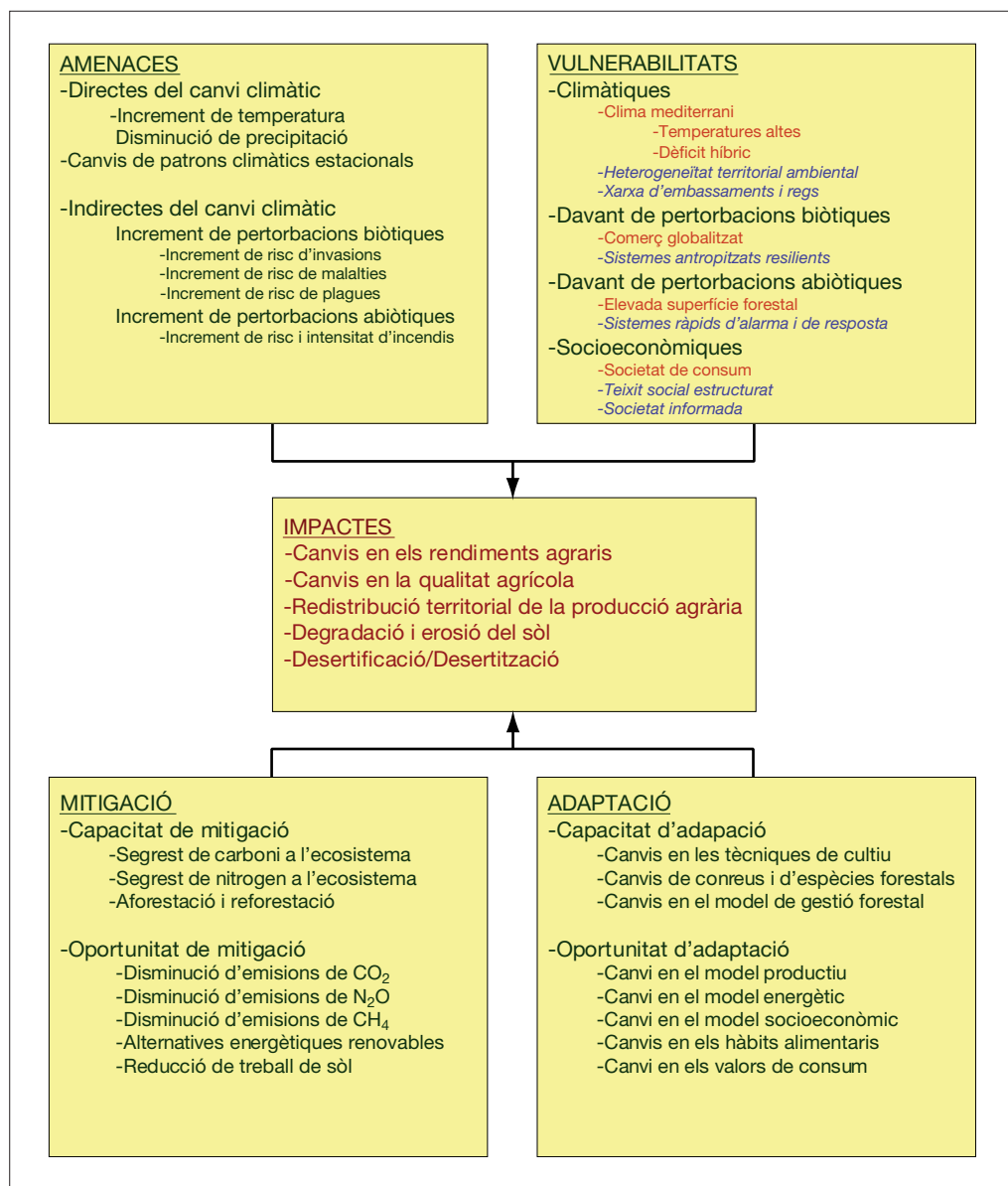


Figura 3. Marc conceptual detallat dels elements clau en la problemàtica del canvi climàtic i el sector agrari a Catalunya. Les amenaces externes i les vulnerabilitats internes del sector agrari català, aquestes darreres balanç entre les febleses (en taronja) i les forteses (en blau i cursiva) determinaran els impactes. Alhora les mesures de mitigació i d'adaptació contribuïran a modificar amenaces i vulnerabilitats i també, directament i indirecta, els impactes.

i nitrogen, disminuint així les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle més importants (CO₂, CH₄ i N_xO). Els agroecosistemes proporcionen, doncs, amplies oportunitats de mitigació, i també d'adaptació (Deudon, 2001).

En aquest capítol es presentarà en primer lloc la situació del sector agrari català, per tal de determinar els components crítics dins del sistema de bucles associat al flux de productes agraris (secció 16. 2). A continuació, seguint el model

conceptual del canvi climàtic a Catalunya, es repassaran les amenaces externes directes i indirectes del canvi climàtic rellevants per al món agrari català (secció 3), i a les vulnerabilitats internes (secció 16.4). Després s'analitzaran algunes de les connexions entre els bucles del sistema agrari, estimant les potencialitats —capacitat i oportunitat— de mitigació dins de cadascun dels bucles (secció 16.5); i les opcions d'adaptació (secció 16.6), incloent-hi la interacció del sector agrari amb el consum i, en menor mesura, el paper de les indústries agroalimentàries, les quals en tant que indústries són objecte d'un tractament més extens en un altre capítol d'aquest informe (vegeu Garriga, 2010). A continuació es resumiran els possibles impactes sobre els sistemes agraris catalans (secció 16.7) i es presentaran unes consideracions finals (secció 16.8). Finalment, en l'annex 1 es farà una compilació dels impactes per subsectors.

16.2. El sector agrari a Catalunya: estat actual

16.2.1. Metodologia

La determinació de la situació actual dels sector agrari de Catalunya, incloent-hi l'agrícola, el ramader, el forestal i algunes dades del sector agroalimentari, es basa entre d'altres en les estadístiques de l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT), en les dades dels censos agraris i de les enquestes agràries, que afecten sobretot als dos primers sectors, i en l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya (IEFC, Gracia *et al.*, 2004, 2005).

Des de l'entrada d'Espanya en la UE, s'han portat a terme a Catalunya tres censos agraris, al 1989 i al 1999, ja publicats, i al 2009, en fase de processament de dades. A més, hi ha programes de la UE que estableixen la realització de tres enquestes menys exhaustives sobre les explotacions agrícoles mitjançant tècniques de mostreig cada tres anys durant els períodes intercensals. A Catalunya es fa una enquesta anual on a les preguntes estàndard se n'afegeixen altres d'interès per al sector català. En el present estudi s'indica la procedència de les dades (censos o enquestes), i es mostren les dades més adients i comparables en cada cas d'entre les disponibles, tenint en compte que al llarg dels anys de vegades hi ha hagut canvis en les metodologies de procedència i recollida de dades.

16.2.2. Les superfícies agràries de Catalunya i llur evolució

A Catalunya, les superfícies agràries totals són altes (taula 1). Dels aproximadament 32.000 km² del territori català, boscos, prats, pastures i conreus n'ocupen al voltant del 90%, segons l'Inventari Ecològic i Forestal Català (IEFC; Burriel *et al.*, 2000-2004; fig. 4). En conjunt, la superfície forestal se situa a Catalunya en 1.956.791 ha (prop del 60% del territori) segons dades de l'IEFC (Burriel *et al.*, 2000-2004). La superfície arbrada ocupa vora del 40% del territori (fig. 4). Hi segueixen en proporció territorial els conreus, amb un 27%, dels quals el 19% són de secà i el 8% de regadiu (fig. 4). Prats i herbassars, que són ecosistemes dominats per plantes herbàcies, ocupen 128.437 ha, un 4% del territori global de

	Superfície total (km ²) ⁽¹⁾	Població (1.000 hab) ⁽¹⁾	Superfície agrícola utilitzada (SAU) ⁽²⁾		Nombre d'explotacions agràries ⁽²⁾ (1.000)	SAU per explotació (1.000 ha) ⁽²⁾
			1.000 ha	% del total		
Catalunya	32.107	6.995	1.162	36,2%	57,5	20,2
Espanya	505.368	44.475	25.114	49,7%	1.079	23,3
UE-27	4.283.963	495.097	172.616	40,3%	14.107	12,2
UE-25	3.935.553	465.846	155.982	39,6%	9.316	16,7

Taula 1. Superfície territorial i altres dades físiques a Catalunya, Espanya i la Unió Europea l'any 2007. La Superfície Agrícola Utilitzada (SAU) comprèn les superfícies de conreus, prats i pastures.

(1) Anuari 2008 d'Estadística de Catalunya. Institut d'estadística de Catalunya (Idescat).

(2) Enquesta d'Estructures Agràries 2007. Eurostat i Idescat.

Font: DAR, 2008.

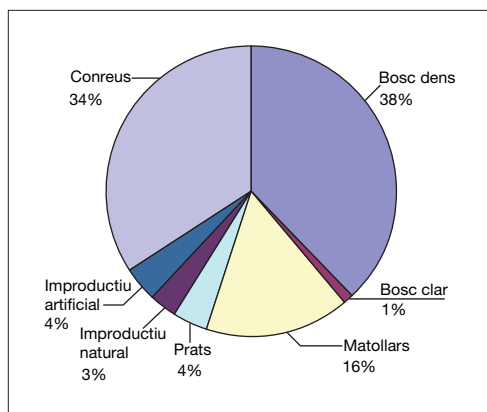


Figura 4. Distribució de la superfície total a Catalunya l'any 2008 per tipus de coberta. Altres usos no representats: 0,1%.

Catalunya, i els matollars, sovint utilitzats com a pastures, n'ocupen un 16,4% segons l'IEFC (Buriel *et al.*, 2000-2004; Gracia *et al.*, 2004; 2005).

L'ocupació territorial per usos dins les explotacions agràries a Catalunya s'ha mantingut, en general, força estable als darrers anys, tot i que s'ha detectat una tendència mitjana cap a la disminució de les terres llaurades (-2,9%), particularment dels secans (-3,4%) més que no pas dels regadius (-1,6%, fig. 5), mentre les pastures augmenten (fig. 5). Les pastures han augmentat globalment des de finals del segle xx per sobre del 10% (IDESCAT, 2010). Aquests dos fenòmens estan relacionats, ja que l'abandonament de les terres de cultiu, sobretot en zones marginals, sovint porta primer a una utilització ramadera més o menys extensiva, fins al seu abandonament final, quan passen a convertir-se en zones aforestades (Bayfield *et al.*, 2008).

Després de segles d'intensa desforestació, especialment agreujada durant el segle XIX, la superfície arbrada catalana va assolir mínims històrics durant el primer terç del segle XX,

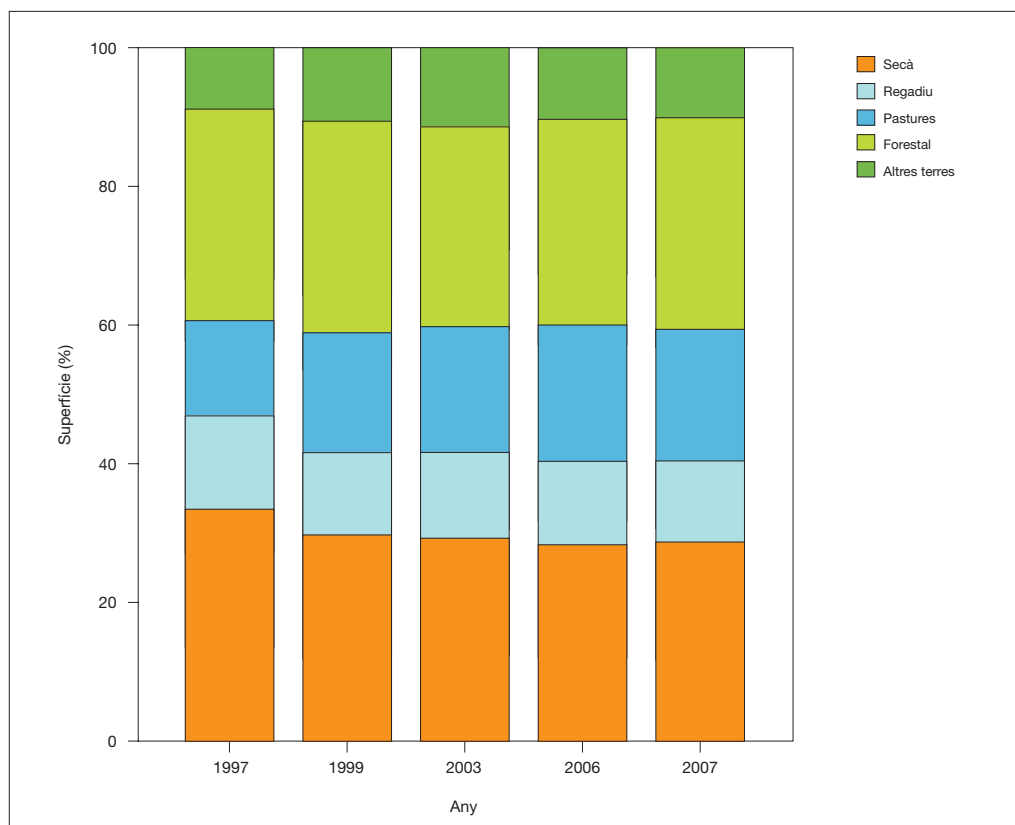


Figura 5. Evolució temporal de les superfícies de les explotacions agràries del 1997 al 2007 per tipus de coberta.

(DGCN, 1998). A partir d'aquesta etapa s'inicia un augment de la superfície forestal degut principalment a l'evolució socioeconòmica lligada al desenvolupament industrial que va resultar en un important èxode rural, generalització de l'ús de combustibles fòssils, descens de les activitats silvopastorals, abandonament de les terres menys productives, etc. Canvis en l'ús del sòl del mateix tipus s'han detectat a tota Europa (MacDonald *et al.*, 2000; Rabbinge i van Diepen, 2000).

En l'actualitat, la producció agrària està fortament especialitzada segons zones geogràfiques. Una característica clau del territori català és la seva heterogeneïtat climàtica i ambiental, i per tant de models de producció agrària. Les comarques de ponent, centrals, gironines i les terres de l'Ebre serien les zones amb superfícies agrícoles més extenses (fig. 9). Tanmateix, a les zones litorals barcelonina i tarraconense s'hi troba una gran diversitat de conreus (taula 2) malgrat la superfície agrícola relativament reduïda (fig. 9).

Zona agrícola	Productes 1.000 ha	Superfície de secà % del total	Superfície de regadiu	Superfície total
Alt Pirineu i Aran	Sobre 33 cultius a 26.000 ha	Ordi Blat Praderes polifites Alfals Civada	Ordi Praderes polifites Blat de moro farratger Alfals Blat	Ordi Blat Praderes polifites Alfals Civada
Comarques gironines	Sobre 64 cultius a 77.000 ha	Ordi Blat Civada Alfals Raigràs	Blat de moro farratger Blat Ordi Alfals Gira-sol	Ordi Blat Civada Blat de moro Farratges Alfals
Àmbit metropolità	Sobre 67 cultius a 20.800 ha	Ordi Civada Blat Alfals Cereals d'hivern per a farratge	Ordi Tomàquet Carxofa Blat de moro Farratges Enciam	Ordi Civada Blat Alfals Cereals d'hivern per a farratge
Camp de Tarragona	Sobre 60 cultius a 23.000 ha	Ordi Blat Civada Triticale Cereals d'hivern per a farratge	Ordi Carxofa Tomàquet Enciam Altres hortalisses	Ordi Blat Civada Carxofa Altres hortalisses
Terres de l'Ebre	Sobre 52 cultius a 26.000 ha	Ordi Cereals d'hivern per a farratge Civada Blat Alfals	Arròs Carxofa Ordi Coliflor Tomàquet	Arròs Ordi Carxofa Civada Coliflor
Comarques centrals	Sobre 54 cultius a 92.500 ha	Ordi Blat Civada Praderes polifites Raigràs	Ordi Blat Blat de moro Altres hortalisses Patata de mitja estació	Ordi Blat Civada Praderes polifites Raigràs
Ponent	Sobre 59 cultius a 20.4300 ha	Ordi Blat Civada Triticale Cereals d'hivern per a farratge	Blat de moro Farratges Alfals Blat Ordi Altres gramínies	Ordi Blat Blat de moro Farratges Alfals Civada

Taula 2. Principals conreus herbacis a les set regions agrícoles catalanes segons superfície (ha) en secà i en regadiu, i total. Font: Idescat. Enquesta sobre l'estructura de les explotacions agràries, 2007.

Nota: Alguns dels cultius, tot i que siguin els més abundants en la seva categoria, poden estar representats en una superfície total petita en una regió determinada.

Alt Pirineu i Aran	Comarques gironines	Àmbit metropolità	Camp de Tarragona	Terres de l'Ebre	Comarques centrals	Ponent
Vinya per a vi Pomera Olivera d'oli Ametller Noguera	Pomera Vivers Vinya per a vi Perera Presseguer Olivera d'oli	Vinya per a vi Presseguer Olivera d'oli Pomera Pruner	Vinya per a vi Olivera per a oli Avellaner Garrofer Taronjer	Mandarina Olivera d'oli Taronjer Vinya per a vi Presseguer	Vinya per a vi Presseguer Olivera d'oli Pomera Perera	Pomera Perera Presseguer Nectariner Vinya per a vi

Taula 3. Distribució actual dels principals cultius llenyosos a les set diferents zones agrícoles de Catalunya, ordenats segons la producció total a cada zona.

Nota: Alguns dels cultius, tot i que siguin els més abundants en la seva categoria, poden estar representats en una superfície total petita en una regió determinada. Per exemple, a l'Alt Pirineu els conreus llenyosos ocupen una superfície petita, són de secà, i sovint típics de les zones mediterrànies, suggerint que es refugien en àrees microclimàtiques protegides. L'*Atlas Estadístic dels Pirineus* (2010), per exemple, mostra una proporció relativament alta d'ocupació de les terres de cultiu per l'olivera en zones localitzades de la banda sud dels Pirineus occidentals catalans.

L'Alt Pirineu i la part nord de les comarques centrals i gironines són les que tenen l'orografia més complexa, al ser comarques pirinenques. El seu relleu sovint en fa complicada la mecanització i la intensificació. Això fa que els usos del sòl siguin típics de les zones de muntanya: la producció forestal i ramadera extensiva hi predomina. Entre els conreus, que estan relativament poc diversificats, destaquen els cereals i els farratges (taula 4). L'Alt Pirineu en seria un exemple representatiu. La seva superfície agrícola és petita (fig. 9), malgrat l'extensió d'aquest territori (19% del territori català), la proporció de regadiu és baixa (fig. 9), i la superfície forestal és la més elevada de Catalunya, tot i que percentualment el major percentatge de bosc es dona a les comarques centrals (49%) i les comarques de Girona (IEFC; Burriel *et al.*, 2000-2004).

La Catalunya litoral està caracteritzada per un clima benigne, amb un gradient d'augment de temperatura i disminució de les precipitacions de nord a sud (taula 6). En paral·lel, la seva agricultura varia des d'unes condicions molt productives que permeten farratges, cultius extensius i fruiters, i granges de vacum més o menys intensives a les terres gironines (taula 4), passant per horta a la zona metropolitana, actualment molt industrialitzada, fins a cultius de zones típicament càlides a les terres tarragonines, incloent-hi cítrics (taula 4). Mentre al secà predominen els cereals, al regadiu es produeix molta horta. Tampoc hi manquen els hivernacles, dels quals hi ha un total d'unes 600 ha a tota Catalunya (IDESCAT, 2010). A les terres de l'Ebre destaca el cultiu d'arròs. Aquesta zona és

la de proporció més elevada de cultius de regadiu de tota Catalunya, molt per sobre de la superfície de secà (fig. 9). Al camp de Tarragona hi ha una proporció molt alta de secans, i s'hi produeixen una varietat de conreus llenyosos típicament mediterrànies, com la vinya, l'olivera i el garrofer (taula 3).

Les zones centrals i interiors occidentals de Catalunya estan caracteritzades per un gradient climàtic de continentalitat i aridesa est-oest. A les zones més centrals hi domina sobretot el conreu de secà, i són zones típicament cerealistes (ordi i blat). Les terres de ponent inclouen la Plana de Lleida i la Depressió de l'Ebre. Les zones més àrides d'aquesta regió han estat tradicionalment improductives, amb vocació ramadera extensiva de petits ruminants (cabres, ovelles) i conreus llenyosos resistents (olivera i ametller) i de vegades ordi a les zones més difícils, i blat a les zones més afavorides (p.e., properes als rius). Però el desenvolupament de xarxes de reg des del segle XIX, va permetre la intensificació agrícola d'aquestes zones, les quals actualment tenen una part molt important del territori conreat de fruita, panís i blat, i farratge (alfals principalment) (taula 2). Aquesta regió és eminentment agrícola, amb les superfícies d'aquesta dedicació més altes de tota Catalunya, i una gran quantitat de terres de regadiu, tot just per sota de les secà (fig. 9). Entre les llenyoses destaquen sobretot els fruiters de fruita dolça (taula 3).

16.2.3. Producció agrícola actual a Catalunya

La producció estrictament agrícola té una gran importància des del punt de vista territorial (fig. 4), si bé econòmicament no és el sector agrari prin-

Zona agrícola	MP estacional					Cultius actuals	
	MAT	MAP	H	P	E	T	
Alt Pirineu i Aran	5 – 10 (–12)	700 – >1200	120 – >260	180 – >320	140 – 320	180 – 280	Secà Farratges, ordi, blat Regadiu Farratges, panís, ordi
Comarques gironines	(5–) 12 – 16	600 – 1000 (–>1250)	120 – 260	240 – >320	80 – 260 (>400)	200 – >320	Secà Farratges, ordi, blat Regadiu Farratges, panís, blat
Àmbit metropolità	14 – 16 (–17)	550 – 700	120 – 160	120 – 200	80 – 140	160 – 260	Secà Cereals, ornamentals, farratges Regadiu Ordi, hortalisses
Camp de Tarragona	(12–) 14 – 17	500 – 650	60 – 120	120 – 200	80 – 140	180 – 220	Secà Ordi, blat, civada Regadiu Ordi, hortalisses
Terres de l'Ebre	(12–) 15 – 18	350 – 700	100 – 200	100 – 180	40 – 140	140 – 240	Secà Cereals, farratges Regadiu Arròs, hortalisses
Comarques centrals	(5–) 12 – 15	350 – 700	100 – 140	140 – 280	100 – 320	100 – 180	Secà Cereals, farratges Regadiu Ordi, blat, panís
Ponent	(10–) 14 – 16	350 – 600	60 – 120	100 – 180	60 – 140	100 – 160	Secà Cereals Regadiu Panís, alfals
MP estacional ₂₀₇₅							
Zona agrícola	MAT ₂₀₇₅	MAP ₂₀₇₅	H ₂₀₇₅	P ₂₀₇₅	E ₂₀₇₅	T ₂₀₇₅	
							Cultius futurs
Pirineus	4 – 5,5	–5 – +5%	+5 – +15	0 – +10	–15	–10	Secà Farratges, ordi, vinya Regadiu Farratges, ordi, blat, prats
Costa	3,5 – 5	–20 – –10	–10	–10	–40 – –20	–15 – –5	Secà Cereal de secà, vinya Regadiu Cereals, horta, ornamental, arròs
Interior	4 – 5,5	–15 – –5	+5 – +10	–15 – –5	–35 – –15	–15 – –5	Secà Cereal de secà, ordi Regadiu Cereals, farratges, panís, horta

Taula 4. Comparació entre els cultius herbacis actuals de les set diferents zones agrícoles de Catalunya (considerant conjuntament producció i superfície cultivada, vegeu taula 2) i els possibles cultius sota condicions climàtiques projectades per al 2075 a tres zones geogràfiques catalanes.

Font: Dades climàtiques actuals, Atlas climàtic de Catalunya. Període 1961–1990. Termopluiometria. Institut Cartogràfic de Catalunya. Generalitat; Dades climàtiques projectades, Calbó 2009.

Compte de producció a preus corrents	Milions d'euros
Aportació subsector agrícola	1.498
Aportació subsector ramader	2.381
Aportació subsector forestal	42
Millores i altres ingressos	80
Producció final agrària	4.001

Taula 5. Volum econòmic de les activitats agrícola, ramadera i forestal a Catalunya. Producció final agrària desglossada per sectors.

Font: estimacions del Gabinet Tècnic del DAAR, 2007.

cipal, ja que està per darrera de les activitats ramaderes, tant en volum d'activitat econòmica general (taula 5), com per productes (fig. 6). Des del punt de vista territorial, els conreus herbacis ocupen unes 539.000 ha, mentre que els llenyosos n'ocupen més de la meitat, unes 322.000 ha. Cereals per a gra i conreus farratgers són els que

ocupen més superfície, i també donen major producció entre els conreus herbacis (fig. 7); la vinya, la fruita i l'olivera són els que ocupen més superfície entre els llenyosos (fig. 7). Des del punt de vista econòmic, els principals conreus a Catalunya són la fruita, seguida per les hortalisses i els cereals (fig. 8). Farratgers, vi i most, i oli d'oliva serien, per productes agrícoles, els més importants econòmicament (fig. 8).

Una anàlisi comparativa recent de l'evolució de la producció agrícola per conreus mostra que, a més d'una tendència cap a la intensificació, representada per l'augment dels regadius (fig. 5), s'ha produït una disminució generalitzada de les superfícies cultivades per a la major part dels cultius. Algunes excepcions de cultius que augmenten en superfície entre els anys 1999 i 2007 són els cereals de gra, les lleguminoses de gra, la vinya, els fruiters de clima temperat i els fruiters de clima subtropical (taula 6). Destaca l'increment

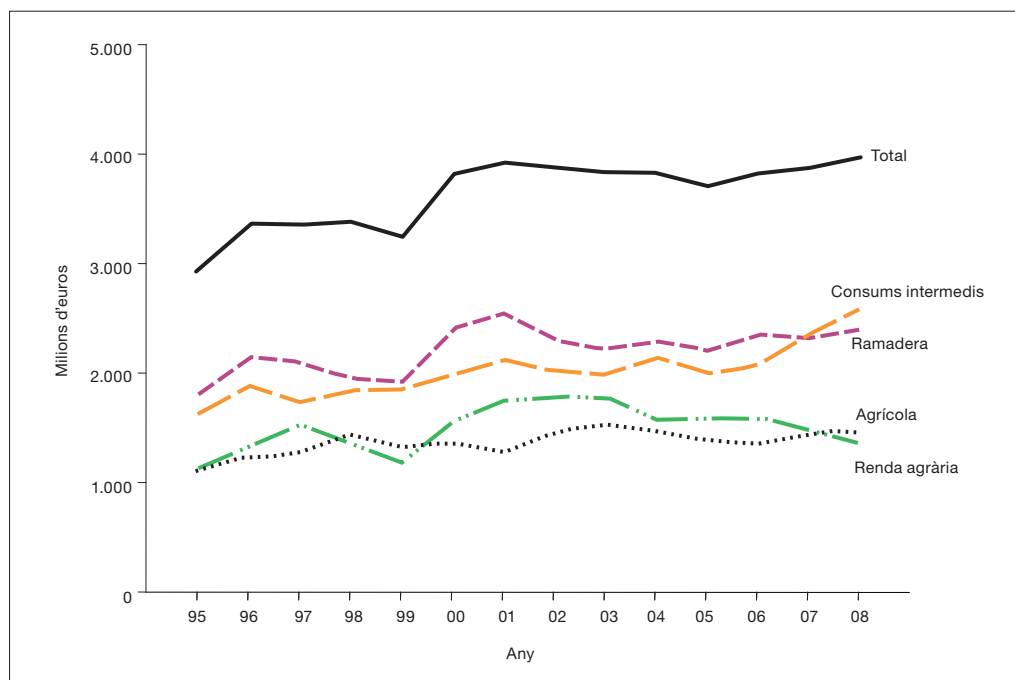


Figura 6. Evolució de les macromagnituds agràries globals a Catalunya durant el període 1995-2008 (Metodologia SEC-95) en valors corrents a preus bàsics en milions d'euros. El valor de la producció a preus bàsics s'obté com a resultat d'afegir al preu que rep el productor les subvencions al producte netes d'impostos. Això vol dir que part de les subvencions d'exploatació de la metodologia anterior s'incorpora a la valoració de la producció de la branca agrària a preus bàsics, i la resta s'assigna a altres subvencions. A partir de l'any 2006 es donen les estimacions provisionals a partir d'estimar, amb la informació disponible, les variacions de l'any (t) respecte l'any anterior (t-1) de les quantitats produïdes, les quantitats consumides, etc. Font: Gabinet Tècnic del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (DAR).

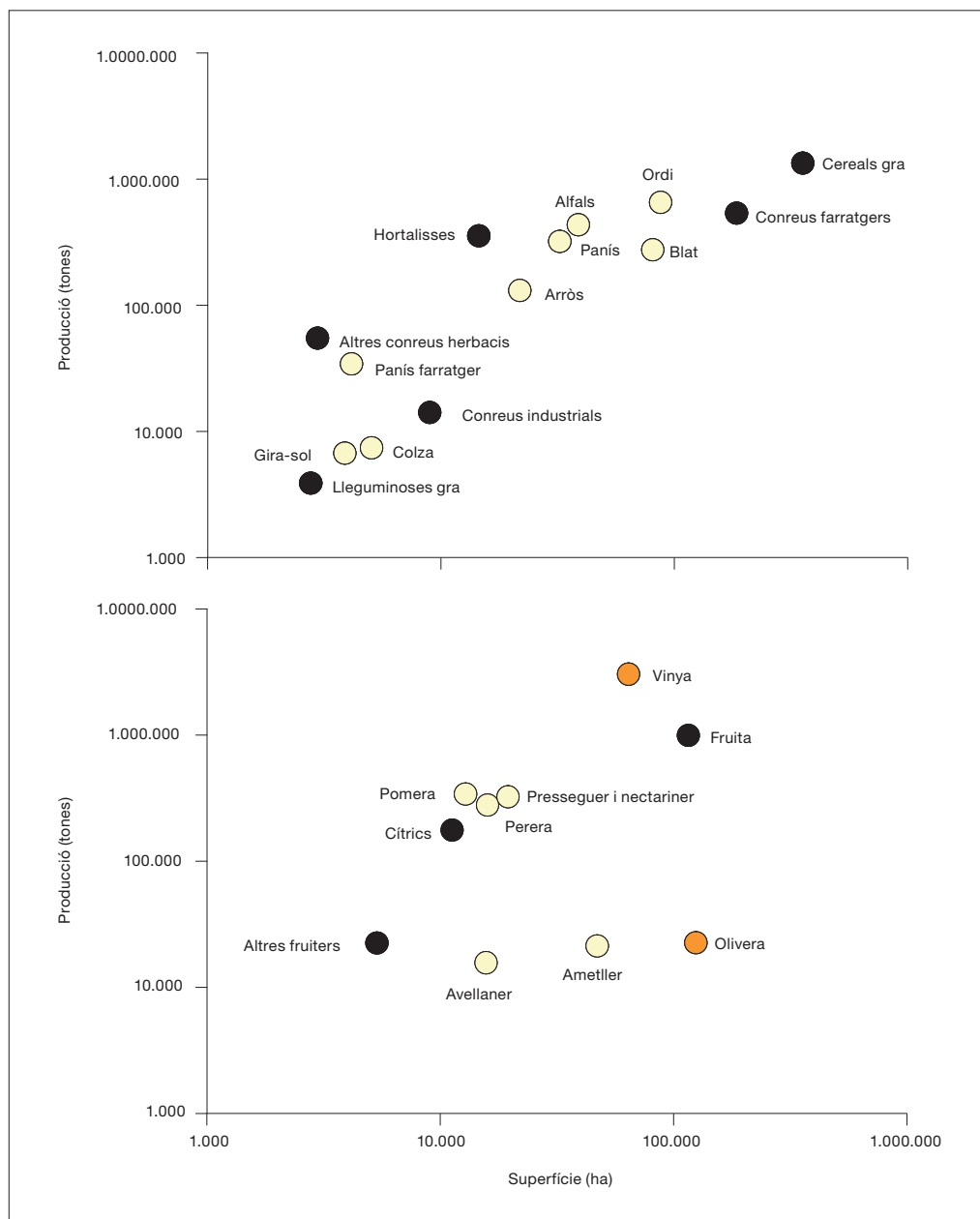


Figura 7. Relació entre la superfície de cultius herbacis (a dalt) i llenyosos (a sota) i la producció l'any 2008. Els punts negres indiquen categories globals. Per a la vinya, la producció mesurada en hectolitres de vi i cava; per a l'olivera, en tones d'oli d'oliva (punts en gris). Eixos truncats i en escala logarítmica.

Font: DAR. Dades bàsiques de l'agroalimentació a Catalunya 2008. La producció de farratges és modificada, calculada sobre el 16% d'humitat.

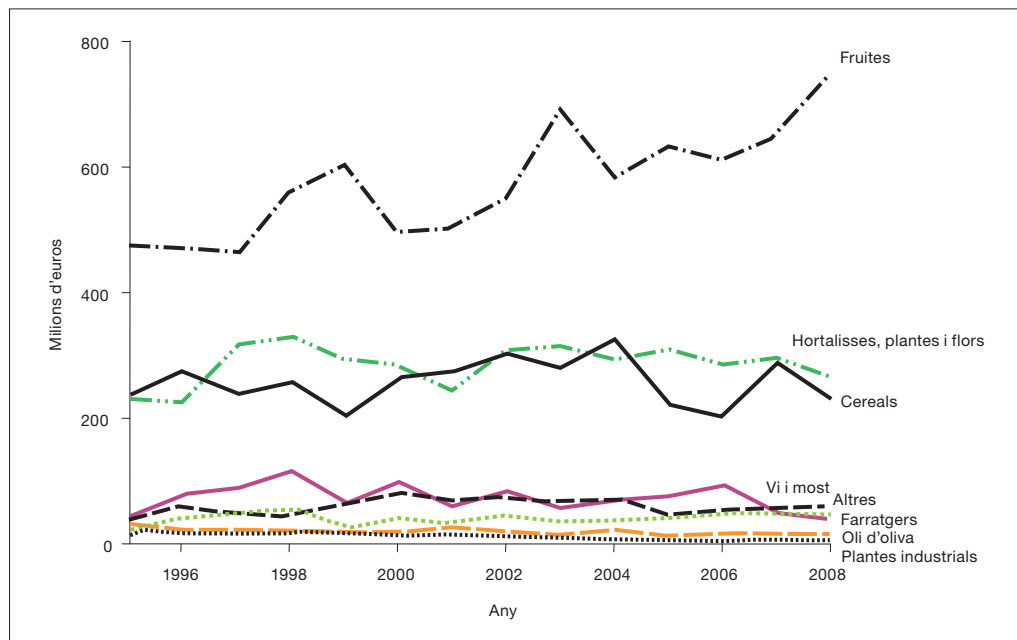


Figura 8. Evolució de les macromagnituds agràries a Catalunya durant el període 1995-2008 (Metodologia SEC-95) en valors corrents a preus bàsics en milions d'euros per productes agrícoles.

Font: Gabinet Tècnic del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (DAR).

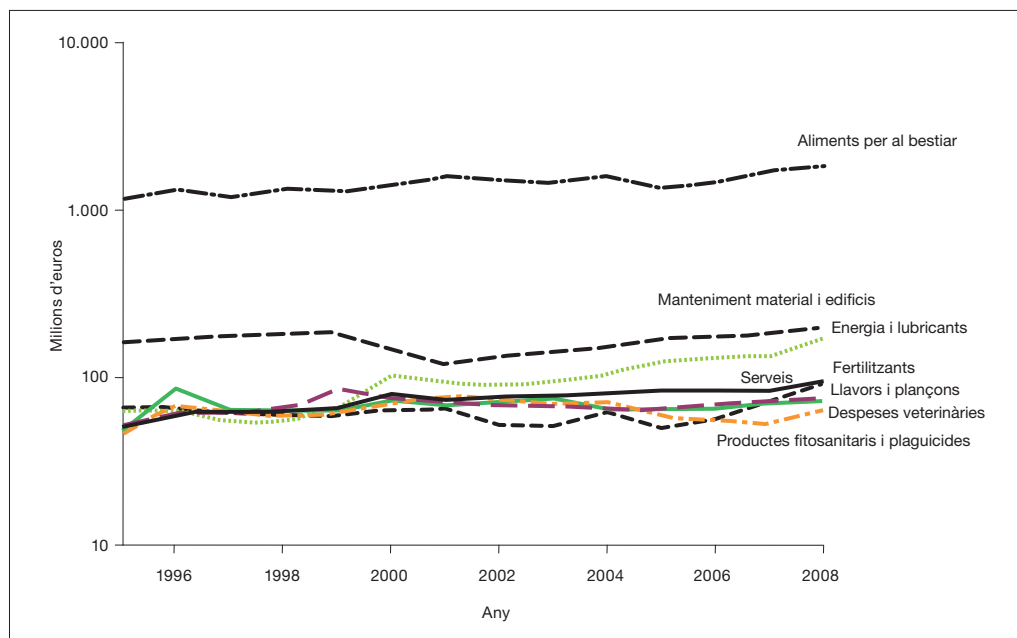


Figura 9. Evolució de la despesa de les explotacions agràries per conceptes. A l'any 2000 es produeix un canvi en la comptabilitat. Noteu que l'escala de l'eix d'ordenades és logarítmica.

Font: DAR, 2010.

	1982	1989	1999	2001	2003	2005	2007	% 99-07	%82-99
Conreus llenyosos	360.056	324.456	301.204	298.521	284.848	278.843	277.692	-7,0	-1.5
fruiters	140.828	164.296	122.253						0
fruita dolça/temperada	57.456	58.521	48.470	48.390	47.106	51.082	49.978	3,3	-0.2
fruita seca	82.902	105.637	73.626	73.111	72.820	66.496	62.694	-14,2	0.1
tropical/altres	470	138	157	157	196	188	192	22,3	-
cítrics	3.332	5.543	8.231	8.212	7.598	8.151	7.888	-3,9	0.6
olivera	77.932	88.023	102.781	101.174	88.895	88.058	90.927	-10,1	4.3
vinya	70.198	60.279	59.734	59.386	66.703	62.938	64.565	8,7	-0.2
planters369	488	1.145					-		
altres	67.397	5.827	7.060	8.091	1.529	1.930	1.449	-82,1	-6.3
Conreus herbacis	576.672	512.544	515.827	515.157	512.987	505.226	512.609	-0,5	1.5
conreus	549.818	492.290	486.802						0.9
cereals gra	400.989	361.018	351.094	350.664	365.356	367.708	370.451	5,6	0.2
farratges	110.631	101.408	99.751					-6,6	0.4
hortalisses	20.987	16.089	10.224	10.147	8.169	8.205	7.484	-26,2	-0.9
lleguminoses gra	2.429	1.932	2.207	2.203	3.911	3.891	2.288	3,9	0
									0
patates	4.255	3.036	1.432	1.415	798	854	940	-33,6	-0.3
industrials	6.999	7 146	20.372	20.368	10.210	8.607	10.808	-46,9	1.8
flors i plantes	1.014	1.090	1.163						
altres	2.514	571	559						-0.2
guarets	26.854	19.909	28.722						0.6
hortes familiars	-	346	303						-
Altres + guarets + hortes fam.				8.091	1.529	193	1.449	-10,3	
Total	936.728	837.000	817.031	813.678	797.835	784.069	790.301		

Taula 6. Evolució de la superfície de terres llaurades per tipus de conreu (hectàrees).

Font: Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT). Dades de les enquestes agràries (anys 1999 a 2007, IDESCAT 2010) i dels censos agraris (en cursiva, anys 1982-1999).

d'aquests darrers cultius en aquest període (22%), la qual cosa podria relacionar-se amb una millora de les condicions climàtiques i amb la disponibilitat de varietats més adaptades. Tanmateix, l'observació que tant els cítrics com la fruita seca es redueixen (IDESCAT 2010) suggereix que els factors socioeconòmics i de mercat interfereixen amb els factors productius i que per tant no es pot fer una interpretació climàtica simplista de les dades.

16.2.4. Situació actual de la ramaderia a Catalunya

La interpretació de les dades agràries en termes únicament de volum de negoci, sense tenir en compte les nombroses externalitats associades a la superfície agrícola i forestal, mostren la dominància del sector ramader a Catalunya (taula 5,

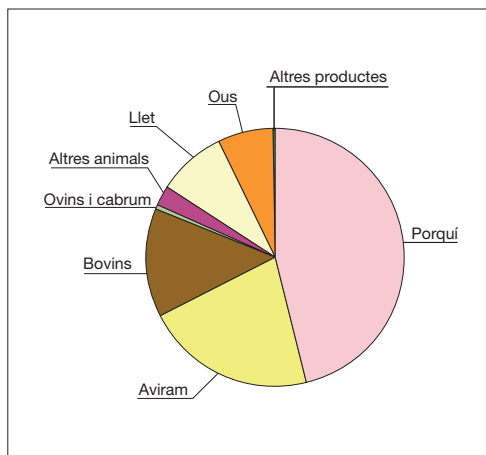


Figura 10. Producció ramadera per producte en percentatge a Catalunya l'any 2008.

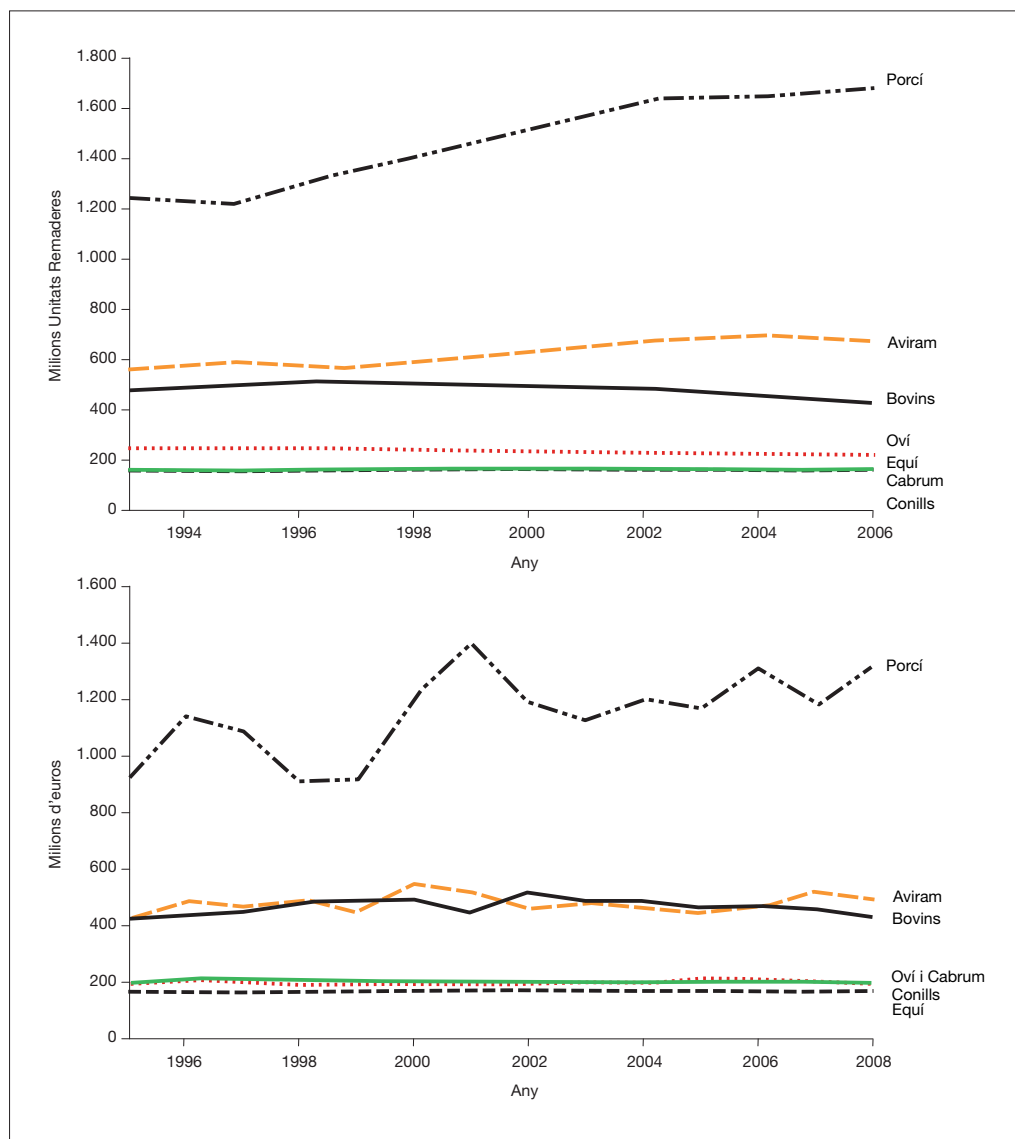


Figura 11. A dalt: Evolució recent del nombre d'Unitats Ramaderes (UR) totals a Catalunya per tipus de bestiar. Les UR han estat unificades per a tots els tipus de bestiar mitjançant equivalències (vaca lletera = 1 UR; truja = 0,5; gallina = 0,014). Font: DAR indicadors. Període 93-2007.

A baix: Evolució de les macromagnituds agràries a Catalunya durant el període 1995-2008 (Metodologia SEC-95) en valors corrents a preus bàsics en milions d'euros per productes ramaders.

Font: Gabinet Tècnic del Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural (DAR). Període 95-2008.

figura 6). Només un 1% del volum econòmic correspondria al sector forestal, mentre el 59,5% correspondria al sector ramader directament, i el 37,5% al sector agrícola (taula 5). A més, una part important de la producció d'aquest darrer

està dedicada a l'alimentació animal, tal i com es dedueix de la importància de la superfície dedicada al cultiu dels farratges (fig. 7); altres conreus herbacis també són parcialment utilitzats per a consum animal. A més, una part elevada

Regió geogràfica	Boví	Oví	Cabrum	Porcí	Equí	Conilles mare	Aviram	Total
Àmbit metropolità	33.409	9.360	725	47.989	1.824	904	28.444	122.656
Comarques gironines	103.651	18.607	1.081	230.837	2.898	1.066	65.782	423.922
Camp de Tarragona	4.383	4.010	913	63.050	512	822	64.264	137.956
Terres de l'Ebre	4.573	4.819	1.096	80.575	323	1.235	107.134	199.757
Àmbit de Ponent	101.474	19.121	972	705.661	430	1.376	392.667	1.221.701
Comarques centrals	96.306	16.851	1.769	425.327	1.983	2.342	28.937	573.516
Alt Pirineu i Aran	44.329	14.314	682	40.847	3.836	223	4.743	108.971

Taula 7. Distribució dels diferents tipus de bestiar entre les set àrees productives de Catalunya, segons el darrer cens agrari.

Font: Idescat. Cens agrari 1999.

de la despesa agrícola està dedicada a alimentació i remeis per al bestiar (fig. 9).

La ramaderia a Catalunya, igual com l'agricultura, sembla seguir un procés d'intensificació. Entre el 2003 i el 2007 es va incrementar la cabana ramadera per explotació en un 2%, mentre que el nombre d'explotacions es va reduir en un 3,1% (IDESCAT, 2009). Observant aquest procés des del 1999 aquesta reducció és del 19,7; l'any 2007 hi havia un total de 14.830 explotacions amb ramaderia (IDESCAT, 2010). L'evolució 1999-2007 de les unitats ramaderes (UR) mostra una disminució

general del 6,5%. Per sectors, destaca sobretot la davallada del nombre de caps de bovins (31%), d'ovins (28,6%) i d'aviram (22,9%). Aquesta disminució ha estat contrarestada en una bona part per l'augment dels porcs (6,7%). Pel que fa a la ramaderia, a Catalunya domina el bestiar porcí (fig. 10, taula 7), que és l'espècie animal que té més caps de bestiar entre el bestiar gros (6,4 milions) i les UR més altes de tot el bestiar a Catalunya. El sector porquí a més és el que presenta també el volum econòmic més alt (fig. 12). El porquí és l'espècie animal de la qual s'obtenen més tones de

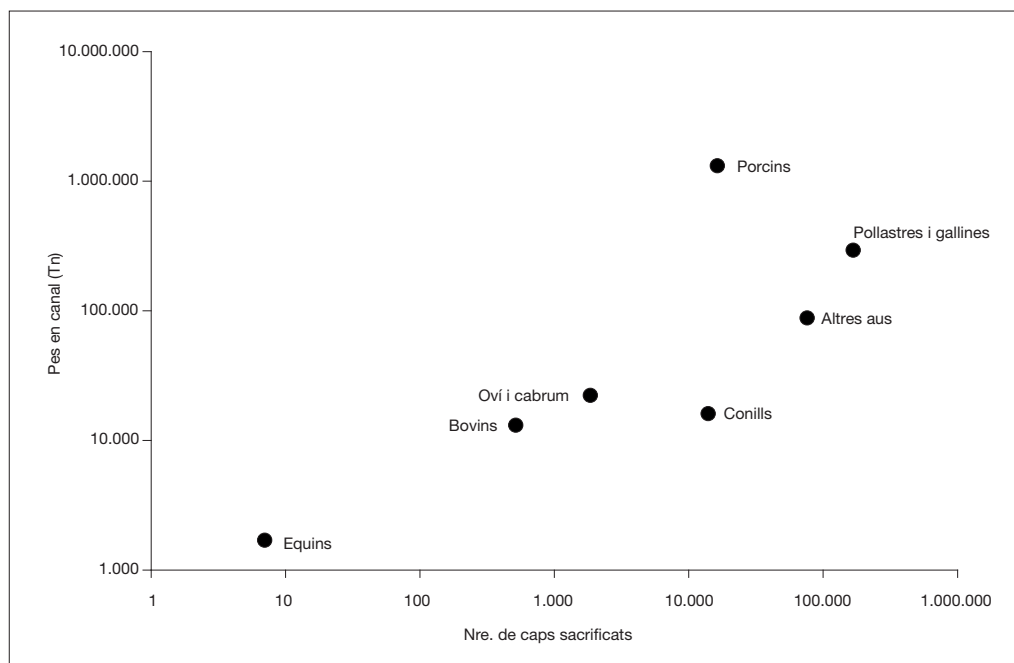


Figura 12. Bestiar sacrificat per a carn segons espècies: relació entre el nombre de caps sacrificats i les tones en canal l'any 2007. Font: DAR, 2008.

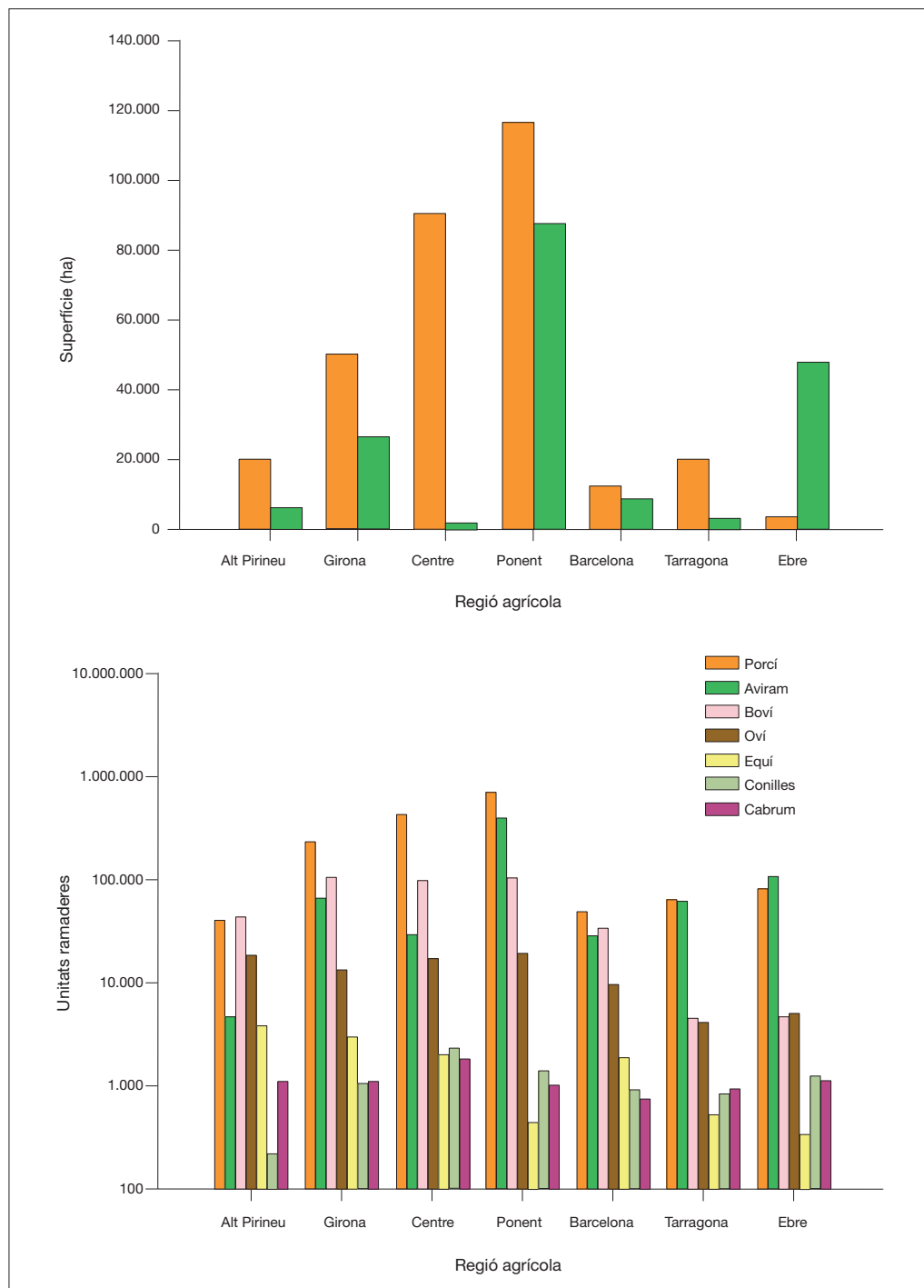


Figura 13. Distribució territorial entre les set regions agrícoles catalanes. A dalt, les zones de secà (barres taronges) i les de regadiu (barres verdes); a baix, les unitats ramaderes per tipus de bestiar l'any 2007, segons les enquestes agràries. Noteu l'escala logarítmica a les ordenades. Les UR han estat unificades per tipus de bestiar.

carn en sacrifici, seguida per l'aviram (fig. 13). Catalunya és la primera comunitat autònoma en nombre de caps de porcí i d'aviram.

Si es considera la distribució territorial de la ramaderia, la regió agrícola catalana amb una producció de porcí i aviram més elevada és amb avantatge la de Ponent (fig. 13, taula 7). El boví, a l'igual que l'oví, és més abundant en les comarques interiors catalanes, seguides per les gironines i pirinenques (fig. 13). Pel que fa a l'equí, destaquen les zones amb més influència pirinenca, particularment l'Alt Pirineu i Comarques gironines (fig. 13). Conilles mare i cabrum constitueixen bestiar minoritari arreu, on destaquen, en tot cas, les zones de l'interior (fig. 13).

16.2.5. Situació actual de la indústria agroalimentària a Catalunya

La indústria agroalimentària és la primera indústria de Catalunya, i la que mou la ramaderia i l'agricultura catalanes (vegeu les dades export-import; entrades a la indústria; export a indústries). El sector agroalimentari és de gran importància en el si de l'economia catalana i del seu paper estratègic com a país; representa el 15,8% del PIB industrial de Catalunya, i genera uns 75.000 llocs de treball directes i uns 60.000 indirectes. Els resultats de l'*Informe Avançat de la Indústria Agroalimentària de Catalunya 2009* (DAR, 2010) indiquen que el sector està resistint millor les conseqüències de la crisi que la resta de la indústria. El grau d'integració de l'agricultura amb la indústria transformadora a Catalunya és molt alt (Albaiges i Romagosa, 2002).

16.2.6. Principals característiques silvícoles actuals dels boscos catalans

Pel que fa a les principals característiques silvícoles dels boscos de Catalunya, es pot dir que una bona part es caracteritza per presentar una alta variabilitat estructural i funcional, en part marcada pel contrast d'estacions forestals, principalment degut a variacions de les condicions del sòl, microclimàtiques, etc. (Piqué, 2004). Entre les principals característiques destaquem:

a) Que es troba en estadis joves d'arbrat, al tractar-se d'espais reforestats a partir de camps abandonats a partir de meitat del segle XX.

- b) Presentar una elevada proporció de peus de petites dimensions, no solament pel fet de ser masses relativament joves, sinó com a resultat de boscos exageradament densos i on l'aprofitament de llenyes i fustes fines es va aturar per la substitució dels combustibles sòlids llenyosos per combustibles fòssils.
- c) Ser masses inestables i estancades en el seu creixement, el que repercuteix en la baixa productivitat d'aquestes.

Les dades de la variació temporal de la superfície forestal de les explotacions agrícoles catalanes indiquen una substitució de les coníferes per cobertes mixtes, la qual cosa pot indicar estadis de transició successional de la vegetació (fig. 14). Tot i que aquestes no representen la situació global de tota la massa arbòria de Catalunya, en poden donar una indicació. Respecte de les característiques territorials de la producció silvícola, el major volum d'aprofitament forestal es dona a la província de Barcelona, d'on s'obté el volum més elevat de coníferes, principalment pi roig, seguit de pi blanc i pinassa

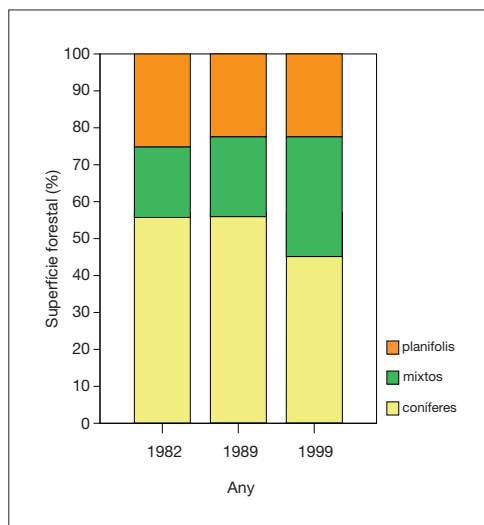


Figura 14. Variació al llarg del temps de la proporció de superfície forestal en les explotacions agràries ocupada per coníferes, planifolis i boscos mixtos.

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

Aquestes dades no representen la dinàmica de tot el territori boscós català, però donen una idea dels processos si es consideren com a unitat les explotacions.

	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	Catalunya
Coníferes (resinoses)	186.695	138.075	111.673	6.762	443.206
avet	0	0	1.648	–	84.799
pi blanc	47.544	32.424	1.018	3.813	22.509
pi insigne	8.405	14.104	–	–	25.009
pi negre	4.403	2.700	17.906	–	24.853
pi pinyer	6.576	18.277	–	–	24.853
pi roig	82.706	35.998	42.631	1.123	162.458
pinassa	32.701	1.552	48.470	936	83.659
pinastre	2.393	23.360	–	890	26.643
altres espècies	1.968	9.660	–	–	11.628
Planifolis (frondoses)	40.858	96.533	5.372	9	142.772
alzines i roures	13.202	5.815	32	2	19.051
castanyer	5.827	15.956	–	–	21.783
eucaliptus	3.594	15.104	–	–	18.698
faig	11.286	7.017	–	–	18.303
freixe	18	2.234	5	–	2.257
pollancre	5.946	44.722	5.123	7	55.798
vern	985	754	6	–	1.745
altres espècies	2.960	4.931	206	–	5.137
Total	227.554	234.608	117.045	6.771	585.978

Taula 8. Aprofitaments de fusta¹ el 2007, per espècies i províncies, en metres cúbics amb escorça.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge

1. Dades referides als aprofitaments autoritzats.

(taula 8). Girona és la província d'on extreu més fusta de planifolis (taula 8). Globalment a Catalunya l'aprofitament de coníferes és més de quatre cops més alta que la de planifolis, essent el pi roig i la pinassa les dues espècies principals (taula 8). Dels planifolis, l'espècie fustanera més important és el pollancre (taula 8).

Dues peculiaritats caracteritzen els boscos a Catalunya a l'hora de discutir la seva gestió silvícola i el canvi climàtic. En primer lloc el règim de tinença, ja que més del 85% dels nostres boscos són de propietat privada (ICONA, 1994). En segon lloc el fet que els nostres boscos són extraordinàriament productius en serveis que no tenen un valor econòmic directe en el mercat, com la biodiversitat, la protecció enfront de catàstrofes i la regulació del règim hídric. La gran paradoxa del bosc mediterrani és que és extraordinàriament ric en externalitats (Domínguez i Plana, 2002), però la seva contribució directa a la producció final agrària és molt reduïda en comparació amb les altres activitats agràries (taula 2). Un altre aspecte important a tenir en compte és

que, a més dels variats serveis sense mercat i les externalitats que els nostres boscos proporcionen, el bosc català també és extraordinàriament multifuncional en els seus productes de mercat, i els productes no fustaners sovint proporcionen un volum econòmic gens menyspreable. La situació de l'aprofitament d'aquests productes que no són fusta és heterogenia i està sovint poc regulada. Així, mentre l'aprofitament del suro és una activitat netament comercial, la recollida de bolets, espàrrecs i pinyons és una activitat mixta, de vegades comercial, de vegades recreacional (Domínguez i Plana, 2002). A més, el baix nivell de regulació d'aquestes activitats fa que de vegades siguin una font de conflictes. En canvi, els productes fustaners dels boscos catalans en general són de baixa qualitat comercial, n'hi ha poca producció i no són competitius en comparació amb els d'altres mercats europeus, principalment del nord d'Europa, com mostra el fet que la producció interior només cobreix un 29,5% de la fusta serrada, metre que la fusta destinada a trituració va tenir un superàvit del

44,9% sobre el consum, considerant dades del 1996 (DGMN, a Raddi, 1998).

16.3. Amenaces del canvi climàtic a les activitats agrícoles, ramaderes i forestals

Les modificacions amb el canvi climàtic de les condicions generals dels factors que influeixen en el procés productiu com la temperatura, la disponibilitat d'aigua, la disponibilitat de nutrients, etc. poden portar, en algunes zones, a un empitjorament de les condicions per al creixement vegetal i per a la producció animal, mentre que en altres poden tenir un efecte beneficiós, de manera que es pot produir certa compensació de la productivitat. Aquests condicionants productius climàtics repercuteixen alhora sobre la biodiversitat i les perturbacions biòtiques, incloent-hi la d'espècies invasores, malalties i plagues, que poden afectar tant la producció vegetal com l'animal. A més, sota condicions de canvi climàtic, es preveu un increment de les perturbacions, com ara és la freqüència d'incendis forestals, i dels fenòmens climàtics extrems com l'aparició d'onades de calor (Stot, 2009). En aquest apartat es repassen els components associats a les amenaces del canvi climàtic més rellevants per al sector agrari català.

16.3.1. Efectes directes del clima

El clima és la principal causa de la variabilitat interanual en la producció agrària i qualsevol canvi climàtic augmentarà la incertesa sobre la producció d'aliments (Reddy i Hodges, 2000). Per aquest motiu, els tècnics han considerat essencial des de sempre l'adquisició d'uns coneixements sòlids que permetin entendre l'efecte dels processos climàtics en la productivitat dels cultius i dels boscos. D'aquesta manera es pot intentar optimitzar la gestió de les activitats agràries no tan sols en el moment actual, sinó també en el futur sota qualsevol escenari climàtic (Gates, 1993).

Considerant les projeccions sobre els diferents elements climàtics, es pot diferenciar entre efectes de l'augment de la temperatura, interaccions d'aquests efectes amb l'augment o disminució de les precipitacions, i augment dels fenòmens climàtics extrems. Les expectatives per a l'agricultura europea són que a les zones frescals amb disponibilitat d'aigua s'allargui el període de crei-

xement de diversos cultius, mentre que a les zones càlides meridionals la tendència sigui cap a una reducció de l'estació de creixement, amb un increment del risc de pèrdues productives per gelades tardanes (Lavallo *et al.*, 2009). A Catalunya, com a la resta de contrades mediterrànies, l'elevada heterogeneïtat ambiental permet esperar les dues situacions.

16.3.1.1. Efectes sobre la producció vegetal

Algunes de les amenaces directes del canvi climàtic que s'han citat per a la producció vegetal (Sombroek i Gommès, 1997; Miglietta *et al.*, 2000; Lavallo *et al.*, 2009; Jones *et al.*, 2009) i que poden tenir rellevància per a les activitats agrícoles i forestals catalanes són:

- *Canvis en el potencial productiu dels cultius:* a) disminució de la productivitat a com a conseqüència de l'estress produït per temperatures altes, tot i que diferents cultius i diferents varietats dins del mateix cultiu poden presentar un rang de resposta a les temperatures diferent, o b) augment de la productivitat gràcies a l'efecte estimulador de la temperatura de tots els processos biològics, per l'estimulació de l'activitat metabòlica, dins dels límits de funcionament. L'efecte positiu de la temperatura sobre la productivitat vegetal pot veure's seriosament amenaçat si d'altres factors de producció com l'aigua i els nutrients no es troben en quantitat necessària. També si l'efecte de la temperatura ultrapassa els límits de funcionament; s'ha projectat un efecte negatiu de les temperatures elevades sobre el rendiment de panís, blat i arròs (Lobell *et al.*, 2008), amb l'impacte consegüent sobre la seguretat alimentària (Brown i Funk, 2008).
- *Davallada de la productivitat neta per increment de la respiració nocturna* relacionat amb el fet que part de l'augment global de temperatura s'ha vinculat amb l'augment de les temperatures nocturnes (Kukla i Karl, 1993), amb la consegüent despesa energètica.
- *Estimulació de la productivitat per la mineralització de la matèria orgànica del sòl i, consegüentment, de la fertilització per augment d'alguns nutrients, com a resultat dels efectes indirectes de l'augment de la temperatura, com s'ha vist en pastures pirinenques sotme-*

ses a condicions experimentals de canvi climàtic (Sebastià, 2007). Tanmateix, la fertilització per mineralització de la matèria orgànica pot ser un fenomen transitori que pot dur a una pèrdua del reservori de nutrients i de carboni en el sistema a més llarg termini.

- *Davallada de la productivitat neta per disminució de la disponibilitat hídrica*, fins i tot sense canvis en les precipitacions, atès que, en general, les temperatures altes solen incrementar l'ús d'aigua per les plantes, augmentant per tant l'evapotranspiració. La reducció de la disponibilitat hídrica amb l'augment de la temperatura i l'augment en la variabilitat de la precipitació (taula 6; Calbó *et al.*, 2010) afectaran tant els cultius de regadiu com els de secà, i la resta de la superfície agrària.
- *Variacions en la durada del període de cultiu*, que pot mostrar dues tendències segons es tracti de zones en què l'activitat està limitada per les baixes temperatures o zones limitades per la pluviometria (Fuhrer, 2006): *a)* ampliació del cicle del cultiu, degut a l'avançament de les temperatures favorables, p. ex. a les zones frescals amb disponibilitat hídrica no limitant (reducció pluviomètrica no condicionant o presència de reg); o *b)* escurçament del període vegetatiu dels cultius a les zones de secans on es projecta una disminució de les precipitacions, per la qual cosa les condicions productives favorables acabaran abans per l'avançament del període de sequera.
- *Augment dels episodis de sequera als boscos* per augment de la temperatura ambiental com a conseqüència de l'efecte d'hivernacle en els sistemes forestals de Catalunya per la reducció del contingut hídric del sòl derivat de l'augment de la temperatura i de la demanda evaporativa atmosfèrica (Piñol *et al.*, 1998; Peñuelas *et al.*, 2004; Gracia *et al.*, 2002).
- *Augment del risc de pèrdua per gelades*, associat a l'increment dels episodis extrems (en aquest cas, temperatures mínimes extremes tardanes) i en zones càlides sense reg i amb disminució de precipitacions, a la mesura adaptativa d'avançament en el cultiu per escapar del risc de sequera.
- *Incidència negativa d'episodis climàtics extrems en moments claus del cicle vital de les espècies cul-*

tivades i forestals: elevades temperatures, onades de calor, sequera o vent, per exemple en el moment de floració i quallat del fruit en fruiters, o en el moment d'emplenat del gra en cereals en condicions de secà. Determinats estadis de desenvolupament són especialment sensibles a les altes temperatures i afecten el rendiment final (Roca, 2009; Bray *et al.*, 2000).

- *Increment de risc d'aridesa i desertificació per canvi en els patrons de distribució espacial i temporal de les precipitacions*. Aquest podria ser l'element clau, més enllà de donar-se una reducció en la precipitació total global per a Catalunya (taula 6). Sembla probable que les precipitacions caiguin de manera més concentrada, en episodis de pluges torrencials, i incrementant-se el període de sequera o nombre de dies seguits sense pluja. Pel que fa als patrons espacials, la reducció de pluja no afectarà igual totes les zones de Catalunya (taula 6, Calbó *et al.*, 2010). Aquestes condicions incrementaran l'aridesa i l'erodibilitat o potencial erosiu de la pluja.
- *Disminució de la qualitat d'alguns productes vegetals per l'augment de la concentració de CO₂ atmosfèric*, com a conseqüència del qual s'ha trobat un augment en la relació carboni/nitrogen en les plantes.

16.3.1.2. Efectes sobre la producció animal

Pel que fa a la ramaderia, el clima pot afectar a la producció d'animals de quatre maneres:

- a) Canvis en la disponibilitat d'aliments concentrats (cereals i lleguminoses de gra).
- b) Canvis en la producció i qualitat les pastures i conreus farratgers.
- c) Els efectes directes del clima i els fenòmens extrems en el benestar animal: la salut animal, el creixement i la reproducció.
- d) Indirectament: canvis en la distribució de les malalties animals i plagues (Smit *et al.*, 1996). Per a la producció agropecuària les amenaces del canvi climàtic es troben dins un ambient d'incertesa per les múltiples variables que hi interactuen. A continuació es detallen algunes de les amenaces directes del canvi climàtic que poden tenir significació per a la producció ramadera catalana:

- *Variabilitat en la disponibilitat dels recursos alimentaris per als animals de renda* deguda a la variabilitat de la productivitat dels cultius, de les pastures sembrades i de les espontànies, la qual cosa pot afectar l'oferta farratgera impedit donar una alimentació adequada i homogènia durant tot l'any.
- *Augment de la variabilitat de la distribució anual de la producció i qualitat dels cultius i pastures per l'alimentació animal* per una lignificació més ràpida o per canvi d'espècies a conseqüència dels canvis en el clima, la qual podrà ser més acusada en les zones de baixa altitud.
- *Alteració de la capacitat de càrrega ramadera en sistemes extensius* dels ecosistemes agro-pastorals degut al que s'ha esmentat en el punt anterior, i a la substitució de plantes farratgeres per altres de pitjor qualitat (Sebastià, 2007).
- *Augment de la freqüència d'aparició de situació d'estrès tèrmic* per temperatura elevada en els animals, causant pèrdues importants de la producció de carn, llet i ous, ja que sota aquestes condicions disminueix la ingestió d'aliment i augmenta el consum d'aigua (Keren i Olson, 2006). Per tant, un augment de la temperatura de l'aire, com la que s'espera en els diferents escenaris, afecta directament el rendiment dels animals (García-Ispuerto *et al.*, 2008).
- *Amenaça al benestar animal per augment de la freqüència i severitat dels esdeveniments extrems com les onades de calor* (Hanh *et al.*, 2003). Una onada de calor es defineix com un període d'incomoditat anormalment calent i humit de temperatures superiors a un llindar seleccionat, en general de tres a cinc dies de durada (Hanh, 1999). Durant aquestes onades de calor, la termoregulació i la conducta d'alimentació dels animals es veuen afectades produint un impacte sobre el rendiment, podent arribar fins i tot a un estadi letal (Hanh, 1999). En vaques lleteres de producció elevada s'ha vist que després d'una onada de calor els animals no s'arriben a recuperar (Valtorta i Maciel, 1998), la qual cosa comporta una disminució permanent del seu rendiment.
- *Increment de la morbiditat i la mortalitat dels animals amb l'estrès tèrmic*, és a dir, quan les temperatures superen el llindar que els animals poden suportar segons nombroses proves científiques (MAFF 2000). En general, és possible afirmar que els animals de sistemes de producció intensiva presenten mecanismes fisiològics més restringits per fer front a l'excés de calor que els dels sistemes extensius, per una major ingesta d'energia (Mader *et al.*, 2002, Brown-Brandl *et al.*, 2006). Es pot produir una disminució del nivell productiu per canvis fisiològics i de comportament animal amb l'estrès tèrmic. Els animals, enfront d'una situació d'estrès tèrmic presenten mecanismes fisiològics i de comportament de supervivència que van en detriment del nivell productiu. Aquests mecanismes s'expliquen per un intercanvi de calor i el balanç energètic de l'animal, i es troben molt influenciats per la temperatura ambiental. Els animals disminueixen la ingesta d'aliments i augmenten el consum d'aigua (Hahn *et al.*, 2003; Khalifa, 2003).
- *Interaccions entre elements de canvi climàtic sobre el benestar animal*. Els factors físico-ambientals que afecten el bestiar corresponen a la interacció complexa entre temperatura de l'aire, humitat relativa, radiació, velocitat del vent, precipitació, pressió atmosfèrica, llum ultraviolada i la pols on la temperatura és el factor més estudiat (Hahn *et al.*, 2003). La humitat (HR) es considera un factor de potencial estrès en el bestiar perquè accentua les condicions adverses de les altes temperatures (da Silva, 2006). Els principals efectes de la HR estan associats a una reducció de la dissipació de calor per sudoració i respiració (Reinaudeau, 2005) i estan negativament associats al consum diari d'aigua (Meyer *et al.*, 2004). La radiació solar (directa i indirecta) és un dels factors més importants que afecten el balanç tèrmic del bestiar (Silanikove, 2000). La radiació té un gran impacte en l'estrès per calor en els animals i està relacionada amb un major consum d'aigua i una reducció de la ingesta d'aliment (Keren, 2005; Keren i Olson, 2006).
- *Variabilitat en els reservoris d'aigua* i el seu efecte en la disponibilitat d'aigua per abeurar als animals.
- *Variabilitat en la qualitat de l'aigua* per la tendència a la salinització i a l'eutrofització.

16.3.2. Efectes indirectes per respostes biòtiques al canvi climàtic: invasions, malalties i plagues

Els efectes del canvi climàtic sobre la productivitat poden operar directament en la fisiologia de les plantes, però és probable que operin també a través de canvis en els cicles de nutrients i de les relacions interespecífiques (competència, predació, parasitisme i mutualisme, entre d'altres). La interacció de l'espècie cultivada o aprofitada forestalment amb la resta de components de l'ecosistema sense que suposi una pèrdua productiva depèn d'un equilibri que està amenaçat pels canvis ambientals. Aquest equilibri és el resultat de la gestió durant mil·lennis dels ecosistemes agraris, que ha dut a la selecció d'espècies amb un potencial productiu, tant en quantitat com en qualitat, en el si d'un ecosistema més o menys complex.

L'impacte del clima sobre les relacions de l'espècie cultivada o aprofitada forestalment amb la resta d'organismes pot tenir lloc a través de canvis en la pròpia espècie cultivada o aprofitada, com són els seus mecanismes de resistència, o mitjançant canvis en les espècies no agràries. Aquests canvis poden ser fenològics, morfològics i fisiològics, en alguns casos responen a variacions en l'expressió de determinats gens. Els canvis en les espècies cultivades i les espontànies de les pastures tindran també repercussions en l'alimentació animal, tant en els sistemes de producció intensius com en els extensius. A més, es poden produir fenòmens aguts d'aparició de malalties ja conegudes com de nova aparició, fet que té gran repercussió sobre el rendiment agrícola i forestal, el benestar dels animals i sobre la salut humana, a més de ser d'una gran transcendència socioeconòmica.

Segons un informe de la FAO (2008), els factors que influeixen en l'aparició, l'establiment i la dispersió de plagues i malalties són:

- a) la globalització
- b) el creixement de la població humana
- c) la diversitat, la funció i la resistència de l'ecosistema
- d) la contaminació agroquímica
- e) l'ús de la terra, l'emmagatzematge d'aigua i el reg

- f) la composició atmosfèrica, el CO₂ i l'acidificació dels oceans per àcid carbònic
- g) les interaccions de les espècies amb hostes, depredadors, i competidors
- h) els moviments de persones i mercaderies.

Aquests factors no són independents entre si, i el canvi climàtic interactua amb cada un de manera independent. En resum, es pot concloure que les alteracions ocasionades pel canvi climàtic sobre les malalties infeccioses i parasitàries del bestiar, així com sobre les plantes cultivades o forestals, poden ser molt complexes. A part dels efectes sobre els patògens, els hostes, els vectors i l'epidemiologia, es podrien generar altres efectes indirectes en la quantitat o la distribució dels competidors, depredadors i paràsits dels vectors.

Els canvis climàtics que poden tenir un efecte a Catalunya sobre els components biòtics dels ecosistemes agraris. Els mecanismes i processos que poden veure's alterats són:

- *Augment del risc d'aparició de malalties i plagues a plantes cultivades, forestals i a animals per les condicions de temperatura elevada.*
- *Modificacions en activitat i supervivència de plagues per efecte de l'increment de temperatura.* L'increment de temperatura projectat pot ser clau en l'activitat de nombrosos organismes (Bale *et al.*, 2002; Clarke i Fraser, 2004; Gillooly *et al.*, 2001; Newman, 2004; Porter *et al.*, 2003). La pujada de temperatures hivernals pot augmentar la supervivència d'adults i, per tant, les poblacions de determinades plagues (Porter *et al.*, 1991), mentre que la hivernació d'algunes espècies s'ha vist reduïda. La manca d'innivació predita per a determinades àrees pot provocar una reducció de la supervivència hivernal d'algunes espècies (Ayres i Lombardero, 2000). Aquests efectes poden no ser tant patents a la Mediterrània, on la temperatura hivernal no és tant restrictiva, mentre que els fenòmens climàtics extrems com les gelades tardanes poden tenir un paper més restrictiu.
- *Canvis distribucionals, altitudinals i cap al nord, de plagues i malalties,* l'entrada de les quals estava limitada per les condicions climàtiques prèvies. L'alteració dels períodes propicis al desenvolupament pot provocar canvis en la

- distribució de les espècies i desplaçament altitudinal del límit de distribució de nombroses males herbes, plagues i malalties (Walther *et al.*, 2009), com sembla que ocorre amb la processionària (Battisti *et al.*, 2005; 2006), que ha augmentat el seu rang altitudinal a Catalunya. La temperatura ha estat identificada com un dels factors que afavoreixen la invasió de plantes exòtiques a Catalunya (Pino *et al.*, 2005), amb un major nombre d'invasores a la terra baixa, alhora que pot exercir un efecte negatiu sobre la flora nativa (Pino *et al.*, 2005). Aquest fet pot incrementar el rang de distribució d'espècies molt agressives, que actualment es troben limitades per la temperatura, fet que resulta evident a altituds i latituds elevades (Walther *et al.*, 2009). Es preveu que el canvi climàtic afavoreixi una certa expansió d'espècies exòtiques en el medi forestal (Dukes i Mooney, 1999) ja que, en molts casos, aquestes es beneficien en major grau de les noves condicions ambientals en ser més eficients en la utilització dels recursos que les natives (Regato, 2008). No obstant això, s'ha dit que la proliferació d'espècies exòtiques en els boscos de Catalunya depèn sobretot dels canvis d'ús i la globalització (Terradas, 2001; Thuiller *et al.*, 2005; Vilà i Pujadas, 2001).
- *Efectes variables segons variacions en la fenologia de plagues i malalties.* Mitjançant el seguiment fenològic històric s'ha detectat un avanç en l'activitat d'algunes plagues (com els àfids, Harrington *et al.*, 2007) i malalties (Hannukala *et al.*, 2007). Aquest fet pot incrementar el nombre de generacions anuals en espècies multivoltines (que tenen més d'una generació anual); si més no, a Catalunya és d'esperar que la temperatura i, en especial, el dèficit hídric estival tinguin un efecte negatiu en l'activitat de plagues i malalties, essent possible que fins i tot s'escurci el cicle vital d'algunes espècies. Els àfids, per exemple, veuen reduïdes les seves poblacions amb la pujada de temperatures estivals (Asin i Pons, 2001).
 - *Desacoblament entre espècies dels agroecosistemes per canvis fenològics.* Cal tenir en compte que les diferents espècies d'un ecosistema no tenen el seu període de desenvolupament regulat pels mateixos factors ambientals, fet que

pot donar lloc a desplaçaments de cicles vitals en diferents sentits i, per tant, un desacoblament de la interacció entre espècies. Aquest fet pot afectar processos com la pol·linització i el control de plagues, entre molts altres.

- *Reducció de l'expressió de gens de resistència a plagues* (Zavala *et al.*, 2008) i *a patògens* (Pangga *et al.*, 2004; Christiansen i Lewis, 1982) *provocats pel dèficit hídric i nivells elevats de CO₂.* En aquest sentit, s'ha trobat una reducció de producció de metabòlits secundaris que protegeixen les plantes de l'atac d'herbívors (Zavala *et al.*, 2008) o de compostos volàtils que atreuen enemics naturals protegint les plantes (Vuorinen *et al.*, 2004).
- *Augment dels danys per plagues degut a l'augment de necessitats nitrogenades per unitat de planta associades a l'efecte de dilució amb l'augment del CO₂* (Gregory *et al.*, 2009). Un increment de CO₂ atmosfèric pot provocar un increment de recalcitrància de les espècies vegetals que les protegiria de l'herbivoria, però induiria una major resistència al control químic i mecànic en les males herbes, a través de canvis fisiològics en aquestes (Bunce i Ziska, 2000). Quant al desenvolupament de patògens, aquest pot també veure's afectat positivament per la concentració ambiental de CO₂ i la temperatura (Chackraborty i Datta, 2003; Gregory, 2009; Jones 2003; Scherm i van Bruggen, 1994). Per tant, resulta difícil predir quin serà l'efecte de l'acció combinada de tots els factors que poden resultar alterats pel canvi climàtic (Coakley *et al.*, 1999; Fuhrer, 2006; Gregory *et al.*, 2009).
- *Canvis en la competència interespecífica entre l'espècie cultivada i males herbes segons metabolisme C3 o C4.* Cal tenir en compte que les concentracions de CO₂ atmosfèric afecten de forma diferencial les espècies C3 i C4, fet que té implicacions en la competència interespecífica entre l'espècie cultivada i possibles males herbes en cas de tenir diferents vies metabòliques (Bunce i Ziska, 2000). Un augment del CO₂ atmosfèric afavoriria el metabolisme C3, però l'augment de la temperatura afavoriria les plantes C4. És d'esperar un canvi en les comunitats de males herbes d'acord amb els nous patrons climàtics. D'altra banda, les espècies cultivades

i les aprofitades han estat seleccionades per les seves característiques productives i de resistència a un ventall concret d'agents biòtics i abiòtics, i per tant, els canvis en aquests agents poden provocar unes condicions a les quals no estigui adaptat el ventall genètic seleccionat històricament. A més, el ventall genètic de les espècies cultivades o seleccionades pot ser més reduït que el de les espècies no cultivades dels ecosistemes agraris, per tant, les espècies cultivades i les aprofitades poden oferir una variabilitat genètica i plasticitat inferiors que les espècies no seleccionades.

- *Possibles interaccions entre plagues i malalties amb fenòmens climàtics extrems.* Cal considerar que l'efecte devastador dels episodis extrems pot interactuar amb l'efecte de les plagues i malalties (Collier *et al.*, 2008; Peters *et al.*, 1999). Plantes i animals estressats per aquests fenòmens climàtics són molt susceptibles de ser infectats per agents patògens. Malgrat tot, l'estudi de l'efecte de plagues i malalties en un ambient alterat no ha tingut en compte els episodis extrems (Gregory *et al.*, 2009).
- *Increment al bestiar dels vectors artròpodes i macroparàsits per canvis climàtics.* El canvi climàtic pot tenir conseqüències, pel que fa a la ramaderia, sobretot en malalties animals transmeses per vectors artròpodes i macroparàsits degut al fet que no es produiran restriccions climàtiques sobre aquests vectors i els agents causants de les malalties, fet important per tal de mantenir moltes malalties animals sota control. Les alteracions de la temperatura i els règims de precipitació poden donar lloc a una propagació de malalties i paràsits en noves regions o produir un increment en la incidència de la malaltia al seu torn, la qual cosa pot fer reduir la productivitat dels animals i, possiblement, afavorir l'augment de la mortalitat (Baker *et al.*, 1993).
- *Aparició de noves modalitats de transmissió de malalties i diferents espècies d'hostes.* En l'informe de la FAO de 2008 es fa palès que es poden generar noves modalitats de transmissió i diferents espècies d'hostes sobretot en regions temperades com és la nostra. Els virus de regions tropicals es desplacen cap a zones de clima temperat. A Europa la llengua blava ja és transmesa actualment per insectes vectors

autòctons, i fins i tot el virus ja és endèmic de Còrsega i Sardenya.

- *Aparició de noves malalties i plagues.* El canvi en el clima genera canvis en la composició i les interaccions de les espècies, la qual cosa provocarà un augment de l'aparició de fenòmens inesperats, incloent el sorgiment de noves malalties i plagues, fet que ja s'ha produït amb relativa freqüència als darrers anys (p.ex., la grip aviar). Cal considerar que quan les espècies i les races d'animals, i les espècies i varietats de plantes es barregen, poden generar vectors nous per la selecció i recombinació de grups de genotips de malalties, a més de l'aparició imprevista de noves malalties i d'una nova distribució de les ja existents.

16.3.3. Efectes indirectes de la temperatura sobre l'increment de les pertorbacions: incendis forestals

Entre els factors de pertorbació abiòtics que s'esperen amb el canvi climàtic (incendis forestals, erosió del sòl i desertificació principalment (Jones *et al.* 2009; Lavalley *et al.*, 2009), els més rellevants per als sistemes agraris catalans són els incendis forestals que afecten els boscos, i l'erosió del sòl. Es preveu un increment de les pertorbacions associades a episodis climàtics extrems en els ecosistemes forestals (p.ex. onades de calor, ventades), segons prediccions d'estudis recents (IPCC, 2007), que els tornarien molt vulnerables a incendis i plagues (Lavalley *et al.*, 2009).

- *Intensificació del règim d'incendis.* Del punt de vista abiòtic, s'espera que les noves condicions ambientals intensifiquin el règim d'incendis. En efecte, l'augment de la freqüència de dies estivals amb temperatures altes i humitats baixes comportarà probablement un augment del risc d'incendi en els sistemes mediterranis (Terradas, 1996).
- *Increment del risc d'incendis.* Si es tenen en compte les previsions dels models de canvi climàtic per a l'àmbit mediterrani occidental, s'espera un increment del risc d'incendis derivat dels dos factors climàtics següents: a) increment de la freqüència, durada i intensitat dels episodis d'ona de sud; b) major evapotranspiració de la coberta vegetal i per tant un menor contingut d'humitat en les plantes.

L'augment de la temperatura global s'ha relacionat amb l'augment de les temperatures nocturnes (Kukla i Karl, 1993), que són importants perquè la vegetació pugui recuperar o mantenir un cert nivell d'humitat.

- *Interacció amb altres elements del canvi global.* En els boscos de Catalunya són observables altres efectes del canvi global (usos del sòl, canvis atmosfèrics i invasions) a més dels únicament atribuïbles al canvi climàtic. L'augment observat de la magnitud dels incendis forestals a Catalunya durant els darrers anys es deu a múltiples factors (Vericat *et al.*, 2009), que poden ser de diferents tipus:
 - a) Climàtic. A Catalunya, les ones de sud a l'estiu són les responsables de les situacions de grans incendis com els de 1986, 1994 o 1998 (Castellnou, 2005). Aquestes situacions climàtiques específiques que afecten àrees extenses es caracteritzen per altes temperatures i humitats relatives molt baixes durant un període de temps perllongat que pot durar dies o fins i tot setmanes.
 - b) Socioeconòmic. L'abandonament de les activitats agroforestals i l'extensió natural del bosc en antics camps de conreu i pastures abandonades es considera una causa de fons dels recurrents episodis de grans incendis forestals. (Plana, 2004).
 - c) Lligats a l'activitat humana, com ignicions per cremes agrícoles, activitats de lleure, conductes imprudents o criminals, etc.

16.3.4. Efectes indirectes de la temperatura sobre l'increment de les perturbacions: erosió del sòl i desertificació

La conservació del sòl constitueix una necessitat de primer ordre, atesa la seva implicació en funcions cabdals de les quals depèn el sosteniment de la societat, i per la seva implicació en funcions com el reciclatge i la descontaminació d'elements tòxics de síntesi, fins a la mateixa regulació dels cicles de l'aigua i els nutrients. Precisament d'aquesta regulació en depèn la composició atmosfèrica i, com a resultat, el funcionament de la biosfera i el clima global. El sòl constitueix un important compartiment de C a la biosfera (els sòls de la UE contenen 71 Gt de C, un 10% de la

quantitat present a l'atmosfera; Jones *et al.*, 2009), essent per tant part important del balanç de gasos atmosfèrics que regulen el canvi climàtic. Cal realitzar un esforç important per a la protecció del sòl davant el futur escenari climàtic, energètic i social. A continuació es descriuen els processos que poden afectar als nostres sòls en l'escenari climàtic previst.

- *Augment del risc d'erosió per augment de temperatura estival.* Les prediccions climàtiques per a Catalunya apunten cap a un escenari en què augmenta el risc d'erosió del sòl. L'increment previst de temperatura, associat a l'augment de sequera estival i, per tant, d'aridesa, condueixen a un reducció de carboni orgànic al sòl a través de la mineralització de la matèria orgànica, i a una disminució de la coberta vegetal. En aquestes condicions augmenta l'erosibilitat del sòl (Jones *et al.*, 2009; Lal, 2008; 2009).
- *Augment d'erosivitat (capacitat d'erosionar) de la pluja,* associada al canvi de patrons pluviomètrics que apunten cap a un augment de pluges torrencials (Jones *et al.*, 2009; Durán i Rodríguez, 2008).
- *Retroalimentació del procés erosiu per increment de mineralització de la matèria orgànica,* ja que es veuen alterades la capacitat de retenció d'aigua, la velocitat d'infiltració i, de retruc, la compactació del sòl. En aquestes condicions és d'esperar una major escorrentia superficial, que desencadena el procés erosiu (Porta *et al.*, 1987; Durán i Rodríguez, 2008; Jones *et al.*, 2009; Lal, 2008).

16.4. Vulnerabilitats del sistema agrari a Catalunya

16.4.1. Vulnerabilitats climàtiques

El sistema agrari a Catalunya està immers en un sistema natural i socioeconòmic que proporciona un context del qual se'n deriven factors de risc o febleses, però també oportunitats associades als punts forts o forteses. Les vulnerabilitats depenen del balanç entre aquests factors. Pel que fa a les vulnerabilitats davant dels efectes directes del clima, es pot esmentar:

- *Vulnerabilitat deguda a la localització geogràfica a la Mediterrània.* A la regió mediterrània el clima presenta en general temperatures relativament

altes i un règim de precipitacions amb dèficit hídric a l'estiu (taula 6). Una pujada generalitzada de les temperatures incrementaria els factors de risc per a la productivitat, particularment per a la vegetal, però també l'animal per disminució del benestar. Els sistemes agraris catalans són molt vulnerables als canvis climàtics projectats, sobretot a les zones més vulnerables en l'actualitat. S'espera, doncs, un increment en superfície de les zones vulnerables a la sequera i les onades de calor.

- *Redistribució espacial de la producció per l'elevada heterogeneïtat ambiental i climàtica.* Una característica de Catalunya, com a moltes altres zones mediterrànies, és l'elevada heterogeneïtat ambiental (taula 6). Gràcies a la complexitat orogràfica del territori, Catalunya presenta una gamma molt gran de climes i condicions ambientals. Aquesta peculiaritat fa que tot i que pugin les temperatures i disminueixin les precipitacions en moltes zones, es puguin mantenir productives les àrees actualment més frescals del territori.
- *Capacitat de les espècies forestals termòfiles d'establir-se en llocs de condicions més frescals,* gràcies a aquesta heterogeneïtat ambiental i climàtica del territori català, de manera natural o mitjançant reforestació. En aquest sentit, poden ajudar estudis detallats sobre les distribucions de les espècies llenyoses catalanes (Lloret et al., 2009).
- *Existència d'una xarxa de regs i embassaments en zones agrícoles amenaçades pel dèficit de pluja,* la qual permetria durant un temps el subministrament regular d'aigua. Ara bé, actualment aquest és un tema controvertit, i es debaten les prioritats de l'ús de l'aigua en cas de sequera. Per tant, cal afavorir mesures de reutilització de l'aigua i d'acumulació sostenible de l'aigua de pluja en les pròpies explotacions. A més s'han de vigilar els possibles efectes adversos de l'excès i mala utilització de l'aigua de reg en zones especialment vulnerables a fenòmens de salinització del sòl.
- *Vulnerabilitat per elevada intensificació dels sistemes ramaders.* La ramaderia, caracteritzada a Catalunya per ser majoritàriament formada per sistemes intensius, presenta un elevat grau de vulnerabilitat ja que els animals són de races genèticament millorades forànies, molt producti-

ves i poc adaptades al medi en comparació amb les races autòctones. Els animals d'alta producció de carn, de llet i d'ous són més vulnerables ja que, tal i com s'ha indicat, a temperatures altes redueixen el nivell de consum d'aliment alhora que presenten un major consum d'aigua, la qual cosa es tradueix en una disminució de la seva productivitat, de vegades no reversible.

- *Acoblament del tipus de bestiar a la demanda de consum.* En general, la vulnerabilitat de la ramaderia al clima també pot dependre de les espècies animals considerades, a més de les races. Mentre els petits herbívors estan ben adaptats a resistir temperatures altes, els grans herbívors com el boví ho estan menys, tot i que pot dependre de les races. El canvi social relativament recent de valorització de la carn dels primers cap als segons és un altre factor de vulnerabilitat del sistema.
- *Vulnerabilitat de la ramaderia extensiva per variabilitat de l'oferta de recursos pasturables.* La vulnerabilitat de la ramaderia extensiva ve expressada per la raça dels animals dels ramats, autòctona o forana, i per la gestió i valor de la càrrega ramadera que haurà de ser limitada per la variabilitat del creixement herbaci i de la seva qualitat nutritiva. Les càrregues ramaderes altes poden afectar la vulnerabilitat de la coberta herbàcia augmentant el risc de degradació i compactació del sòl.

16.4.2. Vulnerabilitats davant de pertorbacions biòtiques

D'acord amb l'informe de la FAO de 2008, hi ha un seguit de febleses i factors de risc dels sistemes agraris catalans davant de les pertorbacions biòtiques lligats a la globalització que fan possible la transmissió de vectors d'un lloc a un altre de la Terra on no haurien pogut arribar altrament, entre els quals es poden citar el creixement de la població humana i els moviments de mercaderies i persones, migratoris o ocasionals. A continuació se'n detallen els més rellevants per a Catalunya.

- *Transport de vectors i plagues amb els moviments de mercaderies.* Actualment el comerç està molt globalitzat i es transporten mercaderies des de llocs molt allunyats que tradicionalment no havien tingut contacte amb Catalunya. Només

- en productes agraris, Catalunya va importar per valor de més de 7.000 M€ i va exportar per valor d'uns 5.000 M€ (IDESCAT, 2008). Aquests moviments poden afavorir el transport inadvertit i indesitjat de males herbes, plagues i vectors de malalties de plantes i animals.
- *Transport de vectors i plagues amb els moviments de persones.* A partir sobretot dels anys 60, es produeix una forta entrada de turistes a Catalunya. L'any 2008 el nombre de viatges de turistes estrangers cap a Espanya va ser de prop de 16 milions. Molts d'ells procedien de zones europees amb les quals el contacte ha estat dilatat en el temps, però altres venien de molt més lluny. A aquests viatgers s'han d'afegir uns 5 milions procedents d'altres regions espanyoles (IDESCAT, 2008). Al mateix temps, els catalans han incrementat els seus desplaçaments arreu del món, sobretot a partir dels anys 80-90, amb un total de 18 milions de viatgers l'any 2008. A aquests desplaçaments de persones s'ha d'afegir l'arribada d'emigrants. Durant el període 1998-2007 la població catalana s'incrementà un 17%; més d'un milió d'immigrants, la meitat procedents de llocs allunyats com el continent americà, Àsia, i fins i tot Oceania (IDESCAT, 2008). Tots aquests viatges afavoreixen el transport de vectors i invasores cap als sistemes agraris catalans, i a l'inrevés, malgrat les mesures desenvolupades per alguns països.
 - *Resiliència esperada per localització geogràfica a la Mediterrània.* La localització de Catalunya dins de la Mediterrània, que és un lloc de pas i immigració/emigració de poblacions humanes des de temps molt remots, així com la gran biodiversitat dels ecosistemes mediterranis, fan que la seva resiliència enfront d'invasions, o capacitat de resistir les pertorbacions, sigui previsiblement alta, al menys en comparació amb zones amb poblacions humanes escasses o molt aïllades fins fa poc.

16.4.3. Vulnerabilitats davant de pertorbacions abiòtiques

Les vulnerabilitats climàtiques de Catalunya retroalimenten la vulnerabilitat davant de les pertorbacions abiòtiques.

- *Augment del risc i extensió d'incendis forestals per superfície molt continuada de boscos.* L'ocupació actual del territori de Catalunya proporciona una superfície molt continuada de boscos (fig. 4), i en molts casos successional, la qual cosa incrementa la seva vulnerabilitat davant de grans incendis.
- *Estructura vertical del combustible als boscos,* creada sobretot per causa dels canvis d'usos, fet que propicia focs de capçada d'elevada intensitat i molt virulents.
- *Sistemes ràpids d'alarma i de resposta anti-incendi.* Catalunya compta amb una xarxa de vigilància dels incendis molt extensa, un cos de bombers altament especialitzat, uns mitjans potents de lluita anti-incendis, un conjunt de tècnics i recercadors sobre el tema molt ben formats, i una base de voluntaris molt àmplia i ben organitzada (Associacions de Defensa Forestal). Tot això proporciona un fonament sòlid per al bon funcionament dels sistemes ràpids de vigilància, alarma i protecció del bosc que permet afrontar els reptes amb eficàcia, fins i tot en el cas dels grans incendis, que constitueixen el risc més alt per al bosc, i la vida de les persones i del bestiar.
- *Disminució del risc d'erosió per ocupació continuada de boscos.*
- *Augment del risc d'erosió per pèrdua sobtada de boscos per incendi.*

16.4.4. Vulnerabilitats socioeconòmiques

El sistema climàtic interactua amb el sistema socioeconòmic condicionant les vulnerabilitats dels sistemes agraris. Catalunya viu en l'actualitat dins d'un context social, econòmic i polític molt condicionat per la seva posició dins de l'espai comú europeu i entre els països denominats desenvolupats, amb una economia de mercat però amb regulacions supranacionals. La societat de consum dins la qual està immersa Catalunya i l'estructura de la seva societat civil són també condicionants importants a l'hora de determinar les vulnerabilitats al canvi climàtic, a partir de les vulnerabilitats de la pròpia societat.

- *Interacció amb canvis d'usos per factors socioeconòmics i de política agrària.* El desacoblament de la Política Agrària Europea, que paga subsidis independentment de l'ús de la superfície

agrària, podria portar a l'abandonament de les activitats agràries de moltes zones del país. Aquest fet podria tenir repercussions negatives sobre la conservació del sol i l'emissió de CO₂ (Guo i Gifford, 2002), a menys que s'implantin mesures de reforestació.

- *Vulnerabilitat de la viabilitat econòmica dels sistemes agrícoles per canvis en la disposició de recursos energètics paral·lels al canvi climàtic.* El model agrícola actual, basat en l'ús de recursos energètics derivats del petroli o altres fonts d'energia exògena (no generada al propi agroecosistema), resulta molt vulnerable als canvis d'estratègies d'ús energètic, que poden desencadenar-se de manera més o menys associada al canvi climàtic. Aquest fet se suma a la pròpia vulnerabilitat productiva associada a la impredictibilitat climàtica. L'increment de preu dels fertilitzants que s'ha donat recentment n'és un exemple.
- *Vulnerabilitat de la viabilitat econòmica per canvis dràstics en les dinàmiques d'oferta-demanda.* En part com a resultat de la impredictibilitat climàtica i productiva, que ocasiona canvis sobtats en l'oferta, i en part a causa de l'ús alternatiu dels productes agrícoles per a d'altres usos (com l'energètic), que produeix un augment en la demanda, els sistemes de producció agrícola resulten vulnerables econòmicament i es troben en un entorn econòmic massa canviant com per establir estratègies productives a llarg termini. Cal tenir en compte que la pressió de la viabilitat econòmica a curt termini molts cops dificulta l'adopció de mesures d'adaptació i mitigació favorables a llarg termini.
- *Competència dels recursos productius per a d'altres usos.* Les necessitats d'aigua són multisectorials, amb competència entre la producció d'aigua potable, industrial i hidroelèctrica, els usos ambientals i els recreatius (Evans, 1997). L'agricultura no pot fer front als costos d'abastament d'aigua si aquests s'encareixen per allunyament de les fonts o necessitats d'infraestructures costoses. L'amenaça més important per a l'agricultura i la silvicultura catalanes, com per a tantes altres activitats desenvolupades en el nostre territori, és la disminució de la disponibilitat d'aigua, i caldrà garantir-ne

un ús racional que en permeti el màxim aprofitament.

- *Valors de la societat de consum i l'economia de mercat que promouen una productivitat creixent, agrària o d'altra mena, alimentada per la demanda de béns no sempre justificada o necessària per al benestar humà.* Aquesta estructura socioeconòmica no és respectuosa amb el medi ambient ni permet construir les bases per a la lluita, mitigació i adaptació enfront del canvi climàtic. Les nostres societats són molt vulnerables enfront del canvi climàtic a causa d'alguns dels seus valors. Cal pensar i desenvolupar formes noves de societat adaptades a les noves condicions.
- *Resistència al canvi de model de societat.* El pas d'un tipus de societat orientada al consum il·limitat mitjançant el forçament productiu i la sobreexplotació dels recursos naturals, cap a una societat preparada per al repte del canvi climàtic, és complicat, però necessari.
- *Valors de dieta molt carnívors.* La implantació de dietes amb menys carn i de xarxes de distribució més locals pot ser complicada. La vocació altament ramadera del sector agrari català, tant pel que fa als seus cultius (fig. 7), com al volum econòmic de la seva producció (fig. 6) el fa molt vulnerable davant de canvis en els usos alimentaris o un gir cap a dietes baixes en proteïna animal i altes en proteïna vegetal. Algunes d'aquestes possibilitats han estat citades entre les possibles mesures de mitigació del canvi climàtic (Stehfest *et al.*, 2009). Igualment, la seva especialització resultaria un obstacle si les xarxes de distribució es tornen més locals i cal tenir a l'abast tot el ventall de productes dins d'un mateix territori. Ara bé, s'ha de considerar també el subministrament cap a les indústries agroalimentàries, les quals aporten valor afegit al producte.
- *Estructuració i cohesió social.* La societat catalana és una societat en general estructurada i bastant cohesionada, qualitats que li confereixen resiliència i oportunitats d'innovació.
- *Formació de la societat.* La societat catalana és una societat en general ben formada, amb competències en diverses àrees i competitivitat per afrontar els nous reptes i trobar i

desenvolupar solucions novadores. Catalunya compta amb una base de científics i tècnics ben formats i competitiu en l'àmbit internacional, i alhora amb coneixement de la problemàtica local.

- *Informació accessible.* La societat catalana en general està ben informada i és susceptible de construir i assimilar discursos sobre el canvi climàtic favorables a la resolució del problema i a l'adaptació a les seves conseqüències (Fleming i Vanclay, 2009).
- *Increment de la proporció de joves agricultors.* En els darrers anys s'ha experimentat un lleuger augment de la incorporació de joves amb formació a les explotacions agràries, després d'anys de disminució i envelliment de la població rural. Aquesta tendència permet pensar en una possibilitat de formació més actualitzada entorn a la problemàtica del canvi climàtic i els seus reptes dins del sector, i la introducció dels nous paradigmes adaptatius de l'agronomia del canvi (IDESCAT, 2009).

16.5. Capacitat i oportunitat de mitigació dels sistemes agraris de Catalunya

16.5.1. Capacitat de mitigació: increment de la capacitat de segrestar carboni

Els sistemes agrícoles, pastorals i forestals tenen la capacitat d'acumular carboni al sòl i en altres compartiments de l'ecosistema (p.ex., la fusta dels arbres, vegeu Gràcia *et al.*, 2010). A Catalunya, com en general a la Mediterrània, els sòls agrícoles tenen un contingut baix de matèria orgànica (Savé *et al.*, a Gràcia *et al.*, 2010). En general, s'accepta que els ecosistemes agrícoles tenen actualment menys matèria orgànica, i per tant menys carboni al sòl, en comparació amb el sòl abans de ser conreat. La rompuda del sòl dels sistemes naturals i seminaturals (bosc, bosquines, matollars i pastures) durant la conversió en sistemes agrícoles provoca la pèrdua de C emmagatzemat al sòl (Guo i Gifford, 2002). Per tant, els sòls agrícoles presenten molta capacitat de segrestar carboni, si s'apliquen les mesures correctores adients (Hillel i Rosenzweig, 2009). Cal tenir en compte, però, que a més dels canvis d'ús s'han pogut produir durant el temps després de la rompuda altres canvis, per exem-

ple, climàtics, que poden fer que la capacitat d'acumulació actual difereixi de la inicial.

L'ús dels sòls agrícoles basat en el manteniment de la pròpia matèria orgànica ha estat menys important amb la disponibilitat de fertilitzants sintètics; per tant s'ha reduït la resta de funcions associades a la conservació de aquesta matèria orgànica, com l'augment de la capacitat d'infiltració i retenció d'aigua disponible i, amb especial rellevància en la regulació del clima global, la seva capacitat d'emmagatzemar C.

16.5.1.1. Segrest de carboni a sistemes agrícoles i ramaders

Existeixen diferents vies per incrementar el carboni segrestat al sòl d'ecosistemes agrícoles i pastorals (vegeu també Gràcia *et al.*, 2010):

- *Reducció del treball del sòl:* no conreu, mínim conreu, o conreu de conservació. La sembra directa redueix els processos d'oxidació i, en conseqüència, l'alliberació de CO₂ a l'atmosfera (Heenan *et al.*, 2004), afavorint l'acumulació de carboni.
- *Incorporació de matèria orgànica al sòl i reducció de l'adobat mineral.* Enterrament de la palla (Sisquella *et al.*, 2009). La matèria orgànica (fems, purins, compost, restes de collites i rostolls, i adobs verds) fa que el quocient metabòlic sigui inferior, afavorint el desenvolupament de la biomassa subterrània (Kotschi i Müller-Sàman, 2004), fet important ja que aquesta contribueix a l'acumulació de carboni en el sòl.
- *Increment de l'establiment de conreus permanents, mixtos i rotacions de conreus,* com a estratègies que augmenten la biomassa aèria (Kirwan *et al.*, 2007) i per tant subterrània (Savé *et al.*, 2009), i amb ella la capacitat de retenció de C (Haas i Köpke, 1994; Desjardins 2005).
- *Afavoriment de l'agro-forestació,* tècnica consistent en la introducció de massa arbòria en els diferents agroecosistemes que pot contribuir en un augment del segrest de CO₂ (Shröder, 1994), entre molts altres efectes favorables.
- *Evitació de la crema de residus de la collita,* actualment ja prohibida.
- *Augment de formes recalcitrants* de compostos carbonatats al sòl, amb un increment de la relació C/N que en ralentitzi la descomposició, amb espècies amb una composició química

més recalcitrant, amb compostos carbonatats més complexos o amb metabòlits secundaris (tanins, fenols, etc.) amb una taxa de descomposició més lenta (De Deyn *et al.*, 2008).

- **Afavoriment de la ramaderia extensiva.** La interacció sòl-animal-planta afavoreix la captació i segrest de carboni al sòl (Sebastià *et al.*, 2008a), tot i que es pot produir un lleuger increment d'emissió de gas metà a l'atmosfera degut al fet que els animals tenen una producció més lenta (Plaixats, 2008). Malgrat tot, s'ha vist que el balanç global és positiu, particularment en prats pasturats en comparació amb els de dall (Soussana *et al.*, 2009).
- **Pasturatge mixt amb diferents tipus de bestiar:** cavalls, vaques, ovelles... S'ha vist que afavoreix l'acumulació de carboni al sòl (Sebastià *et al.*, 2008a).
- **Manteniment i increment de la diversitat d'espècies vegetals de les pastures.** Com més elevada és la diversitat d'espècies, més alt el contingut de carboni al sòl de pastures (Sebastià *et al.*, en revisió).

16.5.1.2. Segrest de carboni a sistemes forestals

Als espais forestals, en relació amb la mitigació, els aspectes més importants en el debat actual són:

- **Implementació de mesures destinades al segrest de carboni.** Cal gestionar els boscos i els espais forestals en general de manera que puguin emmagatzemar o segrestar el màxim de carboni, inclosos l'aforestació i la repoblació forestal.
- **Conservació de boscos madurs.** Aquests boscos mantenen fixat el carboni de la biomassa i el sòl (Terradas, 2007), i tot i que s'havia dit que estaven en estat estable i per tant no acumulaven carboni, s'ha vist que encara mantenen la capacitat de segrestar nou carboni, tant als teixits vius de la fusta com a la matèria orgànica que es decompone lentament a la fullaraca i als sòls (Luyssaert *et al.*, 2008).

En resum, es busca aconseguir boscos vitals, estables, resilents, amb elevades taxes de creixement, i amb un bon grau de maduresa. Hi ha nombroses iniciatives en aquest àmbit com ara el programa REDD de Nacions Unides, un pro-

grama per a la reducció d'emissions provinents de la desforestació i la degradació forestal amb l'objectiu principal de combatre el canvi climàtic creant incentius per revertir les tendències de desforestació. Cal assegurar-ne, però, una implantació adient (Melick, 2010).

16.5.2. Oportunitat de mitigació dels sistemes agraris catalans: reducció de gasos amb efecte d'hivernacle

El desenvolupament de les activitats agràries produeix un conjunt d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, directes i indirectes. Les emissions de CO₂ estan principalment relacionades amb el consum de combustibles fòssils. Aquesta energia es necessita per a la producció de fertilitzants minerals de síntesi i fitosanitaris, en la utilització de la maquinària per a les feines agrícoles, ramaderes i forestals, per al funcionament de bombes d'irrigació, i en el transport dels productes al seu punt de consum, contribuint en un 5% a l'emissió global de diòxid de carboni. Les emissions de gasos de nitrogen estan sobretot relacionades amb l'ús de fertilitzants nitrogenats orgànics i inorgànics, i amb les dejeccions ramaderes. Les emissions de gas metà (CH₄) estan relacionades amb el conreu de l'arròs, amb el bestiar remugant i amb la transformació de les dejeccions, i dels fems i purins emmagatzemats (Plaixats, 2008). Tot el conjunt esmentat proporciona oportunitats de mitigació mitjançant el desenvolupament de tècniques i sistemes que permetin reduir l'emissió d'aquests tres tipus de gasos.

Tot i que es troba en concentracions molt baixes, l'òxid de nitrogen contribueix a l'efecte d'hivernacle, ultra contribuir a la destrucció de la capa d'ozó a nivell estratosfèric i a la dinàmica de l'ozó troposfèric. S'ha citat la fertilització com una eina per incrementar la biomassa vegetal produïda i, per tant, per incrementar el carboni segrestat a l'ecosistema. Tanmateix l'aportació de nitrogen inorgànic pot anar acompanyada de dos fets: 1) una major mineralització de la matèria orgànica i, conseqüentment un menor segrest de C (Khan *et al.* *et al.*, 2007), i 2) una major producció de N₂O (Desjardins *et al.*, 2005; Hawkins *et al.*, 2006; Saggar *et al.*, 2010). La desnitrificació, que es considera la principal via d'emissió de N₂O, té lloc principalment en condicions reductores i, per tant, resulta afectada per

la humitat del sòl, i també depèn de la presència de nitrogen al sòl (del Prado *et al.*, 2006; Saggarr *et al.*, 2010). Per tant, reg i fertilització constitueixen dos punts claus en l'emissió d'òxids de nitrogen, amb pics d'emissió en post-fertilització i en els episodis de reg (Teira, comunicació personal; Jacinthe, *et al.*, 1997). La vegetació mitjançant la seva capacitat extractiva, a més de les tècniques agronòmiques, pot intervenir en la reducció de l'emissió regulant la quantitat de nitrogen exportat (Jacinthe *et al.*, 1997). Pel que fa a les emissions d'amoníac, aquestes tenen lloc per volatilització en el mateix moment d'aplicació i les condicions ambientals són claus (Anderson *et al.*, 2003; del Prado *et al.*, 2006; Teira, 2008; Weslien *et al.*, 1998). El reg posterior a l'aplicació pot ajudar a incorporar el fertilitzant al sòl i evitar les pèrdues d'amoníac, si més no també pot propiciar les condicions reductores al sòl i l'emissió d'òxids de nitrogen. Per tant, són diverses les vies per les quals es poden reduir les emissions produïdes als ecosistemes agraris.

16.5.2.1. Producció vegetal

Millora de l'eficiència de les operacions agrícoles i forestals, reduint el consum innecessari de combustibles (West i Marland, 2002), de manera que es redueixin les emissions de CO₂ de la combustió, així com de la producció i transport del propi combustible. Emprar maquinària de categoria A o B que estalvia combustible (entre un 17% i un 40%).

- *Ús de biomassa com a proveïdor energètic* per reduir l'ús de fonts energètiques basades en els combustibles fòssils.
- *Augment de la superfície d'agricultura de conservació*, incorporant pràctiques com la sembra directa, que permeten reduir l'ús de maquinària i el treball de la terra, alhora que limiten l'erosió i incrementen la matèria orgànica al sòl. Cal esperar que en les condicions mediterrànies aquest sistema tingui un balanç més positiu en el segrest de carboni que en climes més freds i humits, en què l'excés d'humitat pot provocar un augment d'emissió de N₂O, resultant-ne un balanç nul o negatiu (French *et al.*, 2009; Jonsson i Wardle, 2008).
- *Augment de l'ecoeficiència* (unitat de producció per unitat d'agroquímica aplicada), de manera que es redueixi el CO₂ emès tant en l'aplicació de fitosanitaris, com en la seva fabricació i transport. Amb aquesta finalitat, cal implementar estratègies de control de males herbes, plagues i malalties basades en el coneixement de l'ecologia dels sistemes cultivats, i en l'aplicació de mètodes de control biològic de protecció vegetal com s'ha fet en els sistemes d'agricultura ecològica i/o integrada.
- *Millora de la gestió de la fertilització*, maximitzant l'eficiència dels adobs, ajustant la quantitat de fertilitzants aplicada a les necessitats dels cultius, tenint en compte les aportacions per fixació i mineralització del nitrogen orgànic del sòl, i els patrons d'extracció per part dels cultius en espai i temps. El fraccionament de l'aplicació de nitrogen pot reduir els períodes en què el nitrogen es troba en excés i, com a conseqüència, reduir l'emissió de N₂O. Tanmateix si l'aplicació fraccionada comporta l'ús de maquinària, cal tenir en compte l'emissió (directa i indirecta) deguda a l'ús d'aquesta.
- *Millora dels coneixements sobre el cicle del nitrogen i el seu ús en els sistemes agrícoles*. Identificar les formes i quantitats en què es troba el N al sòl i els processos pels quals aquest passa a ser disponible per a les plantes o susceptible de ser perdut per emissió i lixiviació. Aquests coneixements poden millorar els plans de fertilització, respecte a la seva planificació d'acord amb les extraccions o per l'anàlisi exclusiva del N inorgànic al sòl.
- *Afavoriment de la implantació de l'agricultura de precisió en la gestió de la fertilització*, aplicant els fertilitzants amb una dosificació variable, programada mitjançant la detecció de la variabilitat espacial del contingut de nitrogen al sòl (Baxter *et al.*, 2003), i reduint l'aplicació, dosi i distribució de productes fitosanitaris.
- *Potenciació de l'ús de policultius i rotacions*, amb una elevada plasticitat extractiva, és a dir, una complementarietat en espai (profunditat d'arrelament, distribució de biomassa aèria) i temps de l'ús de nitrogen. Aquesta plasticitat permet que es redueixin els períodes amb un excés de nitrogen al sòl, entre altres avantatges.
- *Millora de la gestió del reg*. Evitar els sistemes de reg que afavoreixen les condicions reductores per negament, sobretot després de fertilitzar.

- *Combinació de la utilització de residus vegetals i animals per a la formació de biogàs i la producció vegetal protegida en hivernacles*, mitjançant el desenvolupament i implantació de sistemes combinats que permetin l'ús del biogàs per a l'escalfament i altres usos energètics. Aquesta utilització combina en una única superfície tres usos: reciclatge de residus i sanització, cultiu en hivernacle, i generació d'energia.

16.5.2.2. Producció animal

La ramaderia és responsable d'importantes emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. La seva contribució al total generat per activitat agrària a Catalunya és del 66,95%, del qual el 17,50% correspon a la fermentació entèrica i el 49,37% a la gestió dels residus ramaders (DAR, 2008). Les opcions de mitigació per reduir aquestes emissions són possibles mitjançant diverses estratègies.

a) Ramaderia intensiva

- *Millora de la gestió de la producció porcina i aviar*. En aquests sistemes els gasos que s'han de reduir són NH_3 , N_2O i CH_4 . Tots els nutrients que els animals no assimilen es troben en les seves dejeccions, i és per això que és de gran importància reduir el volum de les dejeccions i minimitzar la presència de compostos de nitrogen. En general, un 30% de la quantitat de compostos de nitrogen (proteïna, pèptids, aminoàcids) ingerits pels animals es troba en les dejeccions sòlides i en l'orina.
- *Millora de la gestió de la ramaderia intensiva de remugants*. La digestió ruminal de la cel·lulosa i l'hemicel·lulosa produeix cinc vegades més metà que la del midó dels cereals degut a la taxa fermentació més lenta en el cas dels farratges. En les dietes basades en farratge s'estima que el 6,5% de la energia bruta (EB) es perd en forma de metà, mentre que en les dietes altes en gra de cereal és només del 3,5% (McCrabb, 2002; Eun *et al.*, 2004). Això es degut en l'últim cas a la producció d'àcid propiònic i a l'efecte *bypass* que inhibeix la fermentació ruminal. En un estudi comparant una dieta base d'ensitjat de blat de moro amb una de raigràs es va constatar que les emissions de metà es reduïen un 10% (Kurihara i Terada, 2001).
- *Augment de l'eficiència reproductiva dels animals*.
- *Millora de la gestió de residus ramaders* (Teira, 2008) mitjançant diverses accions: a) aprofitament com a font de MO i nutrients minerals; b) aplicació i enterrament immediat al sòl per evitar pèrdues de nutrients i emissió de gasos; c) tractament dels excedents de purins per obtenir-ne energia renovable per co-generació combinada amb producció de biogàs.
- b) *Ecosistemes pastorals i ramaderia extensiva*
- *Reducció de les emissions de metà dels remugants de sistemes extensius*, mitjançant la incorporació a la dieta dels animals d'aliments concentrats més digestibles durant les èpoques en què els recursos naturals són escassos

16.5.3. Oportunitat de mitigació dels sistemes agraris catalans: transport i combustibles renovables

Amb el problema dels gasos amb efecte d'hivernacle i la previsible manca de combustibles fòssils, als darrers anys s'ha desenvolupat una sèrie d'alternatives sobre combustibles i fonts energètiques que poden tenir impacte per al sector agrari, i també aplicar-se a la mitigació del canvi climàtic dins del sector:

- *Afavoriment de la venda de proximitat*: Reduir les distàncies entre lloc de producció i lloc de consum promovent les xarxes de producció-consum locals, i també la utilització dels transports necessaris mitjançant sistemes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle zero o reduïdes.
- *Utilització de combustible sòlid forestal*: El combustible sòlid forestal esdevé, pel seu caràcter de font d'energia renovable, una alternativa als combustibles fòssils que a la vegada contribueix al manteniment del paisatge, la reducció del risc d'incendis forestals, i la fixació de població al medi rural.
- *Conreu de biocombustibles com a protecció del sòl*: Inicialment molt populars, fins el punt que la UE va afavorir la seva implantació, els biocombustibles tenen molts perills associats. La utilització de terra agrícola per a biocombustibles competeix directament amb els usos de la terra llaurada per a la producció d'aliment; a més, presenten el perill d'estimular l'increment de les terres llaurades per a aquest ús, posant en perill els sistemes naturals i seminaturals, i la bio-

diversitat associada. Si sobren terres cultivades, però, poden constituir una mena de cobertura del sòl que el protegeixi de l'erosió (Smith *et al.*, 2007). També es pot plantejar la seva utilització com a part de cultius mixtos, p.ex., entre fileres de fruiters. La millor alternativa, però, és desenvolupar altres tecnologies de transport.

- *Aprofitament dels residus ramaders per a obtenció d'energia* per cogeneració a partir de la producció de biogàs. Recentment s'ha trobat que la generació de biogàs genera un 95% menys d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, i podria arribar fins a un 120% (Lantz *et al.* 2007). La codigestió anaeròbia a la pròpia explotació amb aprofitament energètic procedent del biogàs generat permet convertir el biogàs en energia elèctrica i calor, una part de la qual es consumeix als propis digestors, una altra serveix per escalfar un hivernacle i la resta per a escalfament de la granja. A Catalunya es va implantar la primera planta d'aquestes característiques l'any 2007, concretament en una explotació del municipi de Vila-sana. Cal estudiar la possibilitat d'implantació generalitzada d'aquests sistemes combinats.

16.5.4. Oportunitat de mitigació dels sistemes agraris catalans: construcció, instal·lacions i alternatives energètiques renovables

a) Instal·lacions i energia renovable

- *Implementació dels avenços tecnològics actuals per controlar les instal·lacions agràries* de manera més eficient i utilitzar fonts d'energia renovable.
- *Utilització de corrent elèctric d'origen solar fotovoltaic* emmagatzemat en bateries per garantir la il·luminació de l'edifici quan sigui fosc i el funcionament de petits electrodomèstics o màquines, eines...
- *Utilització d'aigua calenta sanitària (ACS) escalafada per sistemes solars fototèrmics* que s'emmagatzema en dipòsits termoïllats.
- *Utilització de la calefacció de terra radiant basada en l'escalfament d'aigua mitjançant un sistema de panells fototèrmics* i un emmagatzement en dipòsits d'inèrcia termoïllats.
- *Disposició d'un sistema de suport alternatiu puntual de biocombustible* quan els sistemes de pro-

ducció que depenen del sol no abastin la demanda energètica.

- *Afavoriment de la instal·lació de plaques fotovoltaiques de doble aprofitament*, que permetin el cultiu en passar la llum a través dels panells, i alhora proporcionin un ambient més arrecerat al cultiu o a la pastura en reduir-hi la radiació. Aquesta alternativa pot ser especialment rellevant en zones càlides que esdevinguin particularment calentes i àrides amb el canvi climàtic. Alguns panells deixen passar una part de la llum i funcionen com a elements d'umbracle.
- b) *Construcció (implantació, adequació, materials, instal·lacions)*
 - *Edificació en llocs ben orientats i arrecerats* de vents per a la implantació de construccions rurals.
 - *Adequació de les construccions rurals*. La forma de l'edifici s'ha de adequar a les funcions que ha de complir.
 - *Control de les pèrdues tèrmiques de les edificacions*. En cas d'habitar els espais, les alçades interiors han de ser les adients, i les obertures han de ser les justes per minimitzar les pèrdues energètiques i garantir alhora una adequada ventilació i il·luminació naturals.
 - *Aïllament tèrmic correcte* l'edifici abans d'invertir en sistemes energètics d'escalfament.
 - *Utilització de sistemes passius de captació d'energia* bastants en la pròpia forma de l'edifici.
 - *Concentració de totes les obertures cap el vessant sud*, combinades amb viseres, una ventilació creuada i altres sistemes de refrigeració que protegeixin de l'estrès tèrmic.
 - *Aprofitament de la inèrcia tèrmica*: parets, espais alts d'alçada i ventilats, sistemes passius de control.
 - *Transformació de part de la façana sud de l'edifici en un sistema de "mur trombe"* d'aire o aigua calenta.
 - *Minimització de pèrdues tèrmiques per la pell de l'edifici soterrant part de l'edifici* o enganxant alguna façana contra el terreny.
 - *Adossament d'un mini-hivernacle* al vessant sud de l'edifici.
- c) *Materials*
 - *Utilització de materials de construcció que siguin de l'entorn proper*.

- *Utilització de materials constructius que tinguin un procés de fabricació que garanteixi un impacte ambiental mínim.* En aquest context, la fusta esdevé un material constructiu sostenible de gran interès. La fusta és un material renovable, reciclable, que consumeix molt poca energia durant la seva fabricació, i que emmagatzema CO₂. També la pedra utilitzada tradicionalment és d'interès.

d) Abastiment d'aigua

- *Utilització de mitjans èdics per bombejar l'aigua dels pous com s'ha fet ancestralment, o millor encara, utilitzar bombes submergides en pous d'aigua accionades pel corrent elèctric generat durant les hores de sol mitjançant panells fotovoltaics per tal d'aixecar l'aigua a dipòsits des de els quals poder regar amb pressió el camp de cultiu.*
- *Implementació de sistemes de control de la xarxa entubada el més eficients i locals possible, per tal de reduir la despesa energètica i l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle.*
- *Captació de l'aigua de pluja sobrant que el terra no pot retenir i que fins ara anava torrent avall mitjançant drenatges adequats, i un dipòsit de captació enterrat en el punt més baix del camp.* Aquesta aigua ha de ser bombada cap el punt més alt del camp en un dipòsit sobre el terreny o aeri mitjançant l'energia aportada per plaques fotovoltaïques durant les hores de sol per tal de disposar d'aigua de reg amb pressió per abastar el camp de cultiu.

16.6. Capacitat i oportunitat d'adaptació dels sistemes agraris a Catalunya

16.6.1. Capacitat d'adaptació

La capacitat d'adaptació dels sistemes agraris a Catalunya dependrà de la possibilitat d'aplicació de modificacions tecnològiques de cultiu, de gestió ramadera i forestal, i de canvis d'espècies agrícoles, ramaderes i forestals. Aquests canvis en l'àmbit local poden modificar el mapa agrari català.

16.6.1.1. Canvis tecnològics en sistemes agrícoles i ramaders

- a) *Adaptació a amenaces per pertorbacions abiòtiques*
- *Modificació de la data de sembra.* Els canvis en els cicles dels cultius i en l'ús de varietats

adaptades hauran de permetre als cultius escapar de les condicions climàtiques adverses, al menys de les previsible. La combinació de canvi de varietat cap a altres de més primerenques, i avançament de l'època de plantació va millorar el sistema de producció de la patata (Miglietta *et al.*, 2000).

- *Canvi d'espècies i varietats vegetals cultivades per altres més adaptades a les noves condicions en cada zona territorial productiva de Catalunya.* Increment de la plasticitat fenològica dels cultius, o capacitat d'aprofitar les condicions òptimes per al conreu en el moment en què aquestes es donin.
- *Introducció de llavors i planters obtinguts per millora genètica, més resistents a les pertorbacions abiòtiques i biòtiques i amb rendiment més elevat atenent a les característiques del medi.* La millora vegetal aplica els principis de la genètica per produir varietats amb característiques més desitjables, com la major resistència a les malalties i a les condicions d'estrès tèrmic i hídric, millor valor nutritiu, sabor més agradable, major rendiment, etc. Utilitzant mètodes de selecció (la hibridació ja és un mètode de selecció) i aprofitant aquelles mutacions que es manifesten de forma natural i espontània, l'home ha aconseguit accelerar el procés de millora i selecció natural seleccionant artificialment al llarg de segles aquells individus que presenten unes determinades característiques desitjades.
- *Recuperació, selecció i millora de varietats autòctones,* comprovant les seves possibilitats d'adaptació a les noves condicions del medi, a part de constituir una reserva genètica de gran valor.
- *Augment de la plasticitat genètica a través de la diversitat genètica, intraespecífica i inter,* de manera que el sistema compti amb recursos que el facin més resistent a la variabilitat ambiental. Avaluar l'ús de la diversitat genètica que ens ofereixen les varietats locals i ancestrals, així com germoplasma altres indrets semblants. El ventall genètic de què es disposa prové de la coevolució de les espècies agrícoles i de la introducció d'altres amb diferents factors biòtics i abiòtics, fet que les fa interessants per la seva capacitat de resposta potencial davant dels canvis projectats. La utilització

de cultiu mixt o varietal també pot permetre disminuir la vulnerabilitat del sistema i proporcionar una mesura d'adaptació.

- *Aprofundiment en la comprensió de la fisiologia de les plantes* ja que encara hi ha moltes incerteses en aquest camp, com per exemple sobre l'eficiència de l'ús de l'aigua en plantes mediterrànies (Katerji *et al.*, 2008).
- *Reducció del cicle de cultiu* en zones de secans, mesura que permet a aquest escapar de situacions climàtiques adverses; en aquestes condicions la producció serà més elevada amb varietats de cicle curt (Lavalle *et al.*, 2009).
- *Avançament del cicle de cultiu* per les condicions d'escalfament i evitació de sequera.
- *Avafavoriment d'aquells cultius que minimitzin les pèrdues de CO₂ i maximitzin la fixació de carboni al sòl*, tal i com s'ha enregistrat en estudis sobre fluxos de carboni a ecosistemes agrícoles europeus mitjançant la tècnica dels fluxos turbulents (Ceschia *et al.*, 2010).
- *Útilització racional de la biotecnologia*. La biotecnologia pot tenir un paper important en l'obtenció de varietats adaptades a les noves condicions. En l'actualitat, la selecció vegetal amb l'ajut de marcadors i la caracterització de l'ADN permet desenvolupar nous genotips de manera encara més ràpida i selectiva. L'enginyeria genètica pot contribuir a elevar la producció i productivitat en l'agricultura i, en conseqüència, a la ramaderia, i a l'obtenció de rendiment en terres marginals augmentant la producció d'aliments tant per a l'alimentació humana com animal. Igual com la biotecnologia ha contribuït a millorar la salut humana, hauria de poder contribuir també a la millora en l'obtenció d'aliments en un món superpoblat i sotmès als efectes del canvi climàtic. Ara bé, s'hauria d'augmentar la recerca en aquest camp, tenint en compte que el que es pot afectar potencialment són els sistemes naturals, amb les implicacions ambientals, productives i ètiques que se'n deriven. Per això cal molta cura a l'hora d'avaluar els beneficis de cada aplicació biotecnològica, adoptar un criteri multifuncional, i potenciar també el paper de l'agroecologia.
- *Creació de microambients* que mantinguin la temperatura per sota un llindar i la humitat

per sobre d'un mínim, per exemple amb els cultis mixtos. L'increment de la matèria orgànica als sistemes cultivats augmenta la seva capacitat de retenir aigua i regular-ne els excessos, alhora que augmenta la seva inèrcia tèrmica. A banda, l'augment de la complexitat estructural de la vegetació, pròpia dels cultius mixtos, redueix el percentatge de sòl nu i els efectes negatius de la radiació solar, i pot reduir l'evaporació del sòl en relació amb la transpiració i biomassa produïda (Ozier-Lafontaine *et al.*, 1998). També s'ha trobat una relació positiva entre diversitat vegetal i acumulació de carboni (Fornara i Tilman, 2007; Sebastià *et al.*, en revisió).

- *Increment de la capacitat d'emmagatzemar aigua dels sòls agrícoles* mitjançant l'increment de matèria orgànica que millora l'estructura del sòl, entre moltes altres propietats.
- *Reducció de l'energia utilitzada en el reg, millorant la seva eficiència*. Optimitzar el sistema de reg, prioritzant els sistemes de reg localitzat (per goteig, subterrani) i a pressió (aspersió), quan sigui possible, ja que tenen una major eficiència en l'ús de l'aigua. Cal tenir en compte que el sector socioeconòmic que consumeix més aigua a Catalunya es el sector agrícola: l'agricultura utilitza el 80% dels recursos hídrics (Savé *et al.*, a Gràcia *et al.*, 2010).
- *Optimització de la gestió del subministrament d'aigua* proporcionant-la a l'usuari quan el cultiu la necessiti. Fer atenció al servei d'avisos setmanals de RuralCat per no regar si ha de ploure o per regar si ve un període de sequera. Racionalitzar l'ús de l'aigua i per tant, també el dels nutrients.
- *Afavoriment de la implantació de l'agricultura de precisió* en la gestió del reg, de la fertilització, etc.
- *Introducció de mitjans per tal que les cobertes dels edificis reconduixin l'aigua de pluja cap a dipòsits* des d'on pugui ser reutilitzada per al reg o altres usos no alimentaris.
- *Minimització i control de les pèrdues dins la xarxa entubada* mitjançant controls periòdics per tal de detectar fuites.
- *Afavoriment de formes de conreu de producció més sostenibles*, combinant i millorant les mesures més adaptades al canvi climàtic d'entre

les ja existents (Producció Integrada PI, agricultura de conservació i agricultura ecològica); disminuint l'aplicació de fitosanitaris i adobs, i alhora millorant la productivitat i la qualitat i dels productes obtinguts, i incorporant pràctiques com la sembra directa o de disminució del treball del sòl. Aquestes mesures permeten reduir l'ús de maquinària i el treball de la terra, alhora que eviten la pèrdua de l'estructura del sòl i se'n limita l'erosió, i en alguns casos estalvien aigua, tot i que s'haurien de buscar mecanismes per reduir les males herbes, com afavorir la diversitat sembrada. L'agricultura ecològica és un sistema de producció que pot reduir de manera significativa l'emissió de CO₂ i N₂O (Kotschi i Müller-Säman, 2004), fonamentalment per la no utilització d'agroquímics, treball mínim del sòl i rotació de conreus.

b) Adaptació a amenaces per pertorbacions biòtiques: males herbes, plagues i malalties

- *Augment de l'efecte d'assegurança*, propi dels cultius mixtos i rotacions, en què l'impacte d'un factor biòtic afecta només una de les components cultivades de l'ecosistema, assegurant un mínim productiu sota condicions adverses.
- *Augment de la resiliència dels agroecosistemes*, o la capacitat de resposta a nivell ecosistèmic a una pertorbació biòtica, com pot ser la presència d'una xarxa diversa i abundant d'enemics naturals o la competència davant l'entrada d'invasores o males herbes. L'ús de cobertes mixtes o infraestructures ecològiques com els marges i vores incrementen aquestes propietats.

c) Adaptació a la necessitat de reduir l'ús de derivats dels recursos fòssils

- *Foment de l'ús d'energia endògena en els agroecosistemes*. Fomentar que les espècies cultivades destinin una part de la seva energia metabòlica a: 1) lluitar contra les pertorbacions abiòtiques i biòtiques a què estan sotmeses, afavorint, per exemple, l'ús de mecanismes de competència contra males herbes, o la síntesi de metabòlits secundaris per a la lluita contra plagues i malalties, sempre que no siguin tòxics per als humans; 2) a l'obtenció de recursos que necessi-

ten, com la simbiosi amb organismes simbiotes per a l'obtenció de N atmosfèric.

- *Fonament dels cicles de nutrients en fonts autòctones de N*, afavorint la retenció del N en compartiments estables, l'entrada de N-orgànic a través de la fixació microbiana, i l'augment de les entrades de matèria orgànica al sòl en general per millorar les seves propietats físiques, químiques i biològiques.
- *Augment de la integració de la producció ramadera amb l'agrícola* dins d'una mateixa explotació, la qual cosa permetrà reciclatge de nutrients i estalvi energètic, i es tendirà cap a la consecució de sistemes de cicle tancat.

d) Estratègies per reduir l'impacte sobre les explotacions ramaderes.

- *Modificació i adequació de les instal·lacions ramaderes per millorar el benestar animal.*
- *Modificació i adequació de la programació i formulació de les dietes per fer front als canvis del clima.*
- *Canvi d'espècies i races productives ramaderes* per espècies més adaptades a les noves condicions, afavorint la recuperació i expansió de les races ramaderes autòctones. El límit de temperatura de confort dels animals depèn del seu nivell de producció. Animals que presenten major nivell de producció són més sensibles a l'estrès tèrmic (Johnson, 1987), i no només a la intensitat de l'estrès, sinó també a la durada del període de recuperació per part dels animals (Hahn et al., 2000).
- *Increment del període de pastura a muntanya del bestiar en sistema extensiu*. La ramaderia extensiva de muntanya probablement podrà romandre durant més mesos a zones de pastura dels ports avançant la pujada i retardant la baixada dels ramats per aprofitar millor els recursos naturals. Caldrà regular molt bé les càrregues ramaderes per evitar situacions de sobrepasturatge.
- *Desplaçament de la ramaderia de cotes baixes cap a zones de més altitud* els mesos més calorosos. Aquests canvis possiblement conduiran a practicar nous sistemes de producció inspirats en els sistemes tradicionals, però incorporant els coneixements científics i tècnics (Plaixats, 1996).

e) *Estratègies per reduir la vulnerabilitat associada al risc d'erosió i incrementar el segrest de carboni*

- *Augment de la matèria orgànica del sòl*, incorporant i enterrant al sòl els residus de les collites.
- *Augment de la coberta permanent del sòl*, per tal de reduir l'impacte de les pluges torrencials i les elevades temperatures, alhora que s'incrementen les entrades de matèria orgànica i se'n redueix la pèrdua per mineralització. Les estratègies interessants en aquets camp són: 1) ús de cobertes farratgeres mixtes o d'espècies de llarga durada; 2) ús racional dels guarets i les pràctiques associades, compatibilitzant la seva funcionalitat com a hàbitat (aus estepàries) i la regeneració de la fertilitat del sòl, però reduint al màxim les èpoques en què el sòl està nu; i 3) ús de cobertes sota els conreus arboris, que ultra proveir una funció protectora (Durán i Rodríguez, 2008), fomenten diverses funcions com la pol·linització i el control de plagues.

16.6.1.2. Canvis d'espècies i del model de gestió forestals

Tot i els efectes previsible del canvi climàtic, el bosc o coberta forestal tindran una certa resiliència per la inèrcia d'aquests sistemes dominats per organismes de vida llarga i a les condicions microclimàtiques al seu interior, per la qual cosa hi haurà una tendència cap al seu manteniment durant llarg temps malgrat els canvis de clima. El perill és assegurar la seva persistència si pertorbacions de gran extensió (grans incendis, mortalitat generalitzada per plagues o malalties, etc.) destrueixen aquests boscos. D'altra banda, és complicat poder garantir el manteniment de la diversitat i la multifuncionalitat dels espais forestals i, per aconseguir aquest objectiu caldrà, més que mai, d'una gestió activa i eficient del territori, amb la planificació d'una gestió forestal sostenible, utilitzant les eines silvícoles més adients i l'esforç tècnic i de recerca dins l'ecologia i ciència forestal. La preocupació per aconseguir una gestió sostenible és un tret fonamental que caracteritza actualment el sector forestal arreu del món. A Catalunya, la gestió forestal ha esdevingut progressivament més complexa, en un escenari de reduïda rendibilitat, amenaça dels grans incendis forestals, canvi global i variades

demandes socials que es tradueixen en un ampli marc legal i en una visió necessàriament multifuncional de la gestió (Vericat *et al.*, 2009).

En aquest sentit, i sota la consigna de la gestió adaptativa, Vericat *et al.* (2009) proposen una sèrie de mesures de gestió, algunes d'elles ja considerades en altres treballs com els de Gracia *et al.* (2004), Alcamo *et al.* (2007), Resco *et al.* (2007) i Regato (2008).

a) Realització de tractaments silvícoles i tallades

- *Realització de tractaments silvícoles de millora, aclarides i selecció de tanys*, per tal de reduir la competència pels recursos i els costos respiratoris dels boscos, ajudant que aquests sobrevisquin als períodes adversos.
- *Promoció d'espècies més adaptades* i amb major creixement i vitalitat.
- *Adequació dels torns i intensitats de tallada* de les diferents espècies a les condicions de l'estació (edàfiques, microclimàtiques, etc).
- *Allargament dels torns de tallades* perquè els boscos avancin en el seu grau de maduresa, alhora que s'incrementa el segrest de carboni.
- *Ajuda a la regeneració natural del bosc*, aprofundint en el coneixement de la seva dinàmica i la utilització de les millors tècniques silvícoles.
- *Alerta amb els estadis de regeneració*, per ser el més sensibles a l'estress ambiental, enfront dels arbres adults, que tenen major capacitat de suportar situacions extremes.

b) Promoció de masses mixtes i diversitat d'espècies

- *Promoció de les masses mixtes i la diversitat d'espècies*, sobretot de frondoses, per tal de tenir més opcions de futur, tant des del punt de vista ecològic com econòmic, i augmentar la resistència a les possibles pertorbacions.
- *Canvi de la composició de les espècies dels rodals forestals* o, en aquells llocs on es planti, plantar espècies amb llavors millorades genèticament, adaptades al nou clima, sempre tenint en compte els avantatges de la conservació de la diversitat, inclosa la genètica.
- *Selecció acurada de la procedència de les llavors i plantes* en les repoblacions per una gestió adequada de la diversitat genètica.
- *Introduir frondoses millor adaptades als nous escenaris climàtics* en plantacions de coníferes, i

promoure plantacions multiespecífiques en lloc de plantacions monoespecífiques de coníferes.

- *Promoció de la transformació a bosc de llavor en el cas d'espècies rebrotadores* (com en alzinars) tradicionalment aprofitades com a bosc menut, per tal d'augmentar la variabilitat genètica del rodal (Gil *et al.* 2008).

c) *Integració del risc d'incendi en la gestió forestal*

- *Integració del risc d'incendi en la gestió forestal, conduint el bosc cap a estructures forestals menys vulnerables* al foc, per tal d'evitar grans incendis forestals i incendis recurrents, que poden conduir a la impossibilitat d'establir el banc de llavors i la recuperació de la vegetació.

d) *Planificació forestal i eines de gestió en general*

- *Manteniment dels boscos i les seves funcions ambientals amb mesures silvícoles adients adaptades a cada rodal* i combinar tècniques d'aprofitament tradicional i energètic.
- *Definició d'estratègies específiques de gestió*: tipus de tallada i espècies a afavorir, als boscos de muntanya, ja que tenen menys opcions d'adaptació; i als boscos de ribera, sensibles a la colonització per espècies al·lòtones.
- *Promoció de la gestió ecosistèmica*, gestió pròxima a la natura i la silvicultura orientada a l'arbre individual, com a tècniques eficients de gestió sostenible, que poden realitzar-se amb menor inversió de recursos econòmics.

Les mesures d'adaptació de la gestió silvícola al canvi climàtic i la conservació de la biodiversitat i els béns i serveis que aquesta procura haurien d'incloure l'augment de la superfície de boscos madurs, interconnectats, per preservar la biodiversitat específica d'aquests ambients, actualment molt amenaçada (Paillet *et al.*, 2010). Per tant, entre els aspectes que s'haurien de tenir en compte quan es gestionen els boscos es troba la necessitat de mantenir una xarxa de taques connectades de boscos madurs per tal de conservar tota la diversitat forestal (Paillet *et al.*, 2010; Camprodon, 2008). Camprodon (2008) proposa la conservació d'arbres madurs amb una distància mínima entre ells per tal de preservar els vertebrats associats a aquests ambients. Però per a alguns organismes molt especialitzats, menys

mòbils, i de mida més petita, aquestes mesures podrien ser insuficients per garantir-ne la conservació. Alguns organismes estan associats exclusivament o preferent a aquest tipus de boscos que no s'han utilitzat durant molt de temps, com molses, líquens o escarabats saproxílics; (Paillet *et al.*, 2010). Els boscos verges són molt rars a Europa. A Catalunya moltes terres han estat cultivades fins fa poc i hi predominen els boscos joves. Caldria preveure dins dels plans de gestió l'establiment de taques de bosc amb finalitat d'esdevenir un bosc madur, interconnectades per corredors d'arbres madurs.

D'altra banda, estan canviant els paradigmes sobre reserves biològiques. Sota condicions de canvi climàtic aquestes haurien de ser grans i a més incloure una varietat d'ambients al llarg dels gradients altitudinals i climàtics, per tal de permetre la migració de les espècies forestals i pràctiques (Araújo *et al.*, 2004).

16.6.2. Oportunitat d'adaptació

L'oportunitat d'adaptació recull aquelles mesures que han de ser adreçades als sistemes socials i socioeconòmics. Algunes mesures seran continuïstes, com el manteniment de la recerca sobre la millora d'espècies, varietats i races d'organismes d'interès agrari amb capacitat d'adaptació a les noves circumstàncies, i sobre la viabilitat de la introducció d'altres organismes més adaptats. Altres mesures hauran de ser molt més radicals, i comportaran la modificació d'hàbits arrelats a la nostra societat, com els hàbits de consum. L'oportunitat d'adaptació dels sistemes agraris a Catalunya dependrà dels discursos socials sobre el canvi climàtic, i no seran independents de la situació de resposta i els discursos sobre canvi climàtic a nivell mundial. Tanmateix, Catalunya pot desenvolupar sistemes i establir mesures que siguin un referent mundial.

16.6.2.1. Canvi en el model productiu

a) Agricultura

Dins de l'agricultura, cal un canvi cap a un altre tipus de model productiu que utilitzi menys energia. Per exemple, l'agricultura ecològica i l'agricultura integrada, ambdues dirigides a aconseguir una agricultura sostenible, alhora que ben arrelades a Catalunya, són models que, en diferent grau,

ofereixen estratègies que poden incrementar la resistència i resiliència dels sistemes de producció tant del punt de vista ecològic com econòmic. Aquests sistemes estan lligats a mesures adaptatives al canvi climàtic, entre les quals es poden citar:

- *Promoció d'un ús més eficient dels recursos*, considerant la regulació de tot l'agrosistema, fent els agroecosistemes més independents dels canvis en el preu i la disponibilitat de recursos externs.
- *Abastiment de nutrients dels cultius basat en els propis cicles de nutrients ecosistèmics*, en la implicació dels microorganismes fixadors, i en el reciclatge dels nutrients continguts en la matèria orgànica del sòl, equilibrant les pèrdues i aportacions de nutrients.
- *Estratègies de control de plagues, espècies no sembrades i malalties, basades en els recursos i funcionament del propi ecosistema*, és a dir, en les propietats i funcionament ecosistèmic i aplicant el control integrat de plagues i malalties.
- *Manteniment de les múltiples funcions de l'agricultura*, productiva, ambiental, paisatjística i econòmica.
- *Avaluació de la qualitat diferenciada dels productes* obtenint beneficis econòmics més elevats i mantenint les rendes d'explotació.
- *Afavoriment de la formació dels agricultors*, sobretot joves, en el nou paradigma productiu del canvi.

b) Ramaderia

També en el cas de la producció animal cal un canvi de model, que estaria representat pels postulats de la ramaderia ecològica, la qual és un sistema de producció lligat al sòl i per tant integrat a l'agricultura i la silvicultura. El canvi de la producció ramadera intensiva o extensiva cap a la producció ramadera ecològica que ja es promou a Catalunya pot aportar els beneficis següents:

- *Consecució d'un nivell de fertilitat elevat dels sòls* de conreu i de les pastures d'origen agrícola, com a base fonamental de la producció vegetal.
- *Utilització del màxim de recursos renovables* en sistemes agraris organitzats localment.
- *Abastiment als ramats d'aquelles condicions vitals i productives que els permetin dur a terme un desenvolupament el més natural i innat possible*

respectant les seves necessitats biològiques i de comportament.

- *Integració de les activitats agrícoles amb les ramaderes*, per aconseguir així una major racionalitat i diversificació que contribueixen al manteniment de la renda de l'explotació.
- *Manteniment d'un nivell acceptable de diversitat d'espècies conreades i races criades a cada explotació*, buscant les més adaptades a les condicions locals.
- *Afavoriment del desenvolupament de les defenses immunològiques naturals de l'animal* en benefici de l'economia de l'explotació gràcies a l'acció combinada d'una alimentació de qualitat amb l'exercici físic dels animals.
- *Obtenció de productes de qualitat diferenciada amb més valor afegit*.

16.6.2.2. Canvi en els models energètic i socioeconòmic

Els efectes del canvi climàtic als agroecosistemes es poden amplificar per la seva interacció amb els canvis socials provocats pel mateix canvi climàtic.

- *Canvi de model energètic*. Es preveu un canvi de model energètic ja que es dona un esgotament progressiu dels recursos fòssils (Bentley, 2002) i que, a més, resulta necessari reduir l'ús d'aquests recursos perquè provoquen el retorn a l'atmosfera de C segrestat a l'escorça terrestre. La tendència davant d'aquesta situació és la internalització dels costos d'emissió (com a drets d'emissió) cada cop a més activitats productives, inclosos els costos d'emissió deguts al transport.
- *Aprofitament de l'energia generada en el propi sistema agrari*. A curt i mitjà termini, els reptes davant el marc de canvi global actual i de situació energètica se centren en el trasvàs de l'aport energètic extern als agroecosistemes a l'ús de l'energia generada dins dels propis ecosistemes. Cal tenir en compte que els costos ambientals no estan internalitzats en el preu d'aquests recursos, de manera que ens hem permès subvencionar els ecosistemes agrícoles amb una elevada quantitat d'energia (en diferents formes) importada d'altres ecosistemes o dels recursos fòssils; en definitiva, derivada de la producció primària neta del passat.

16.6.2.3. Canvi en els hàbits alimentaris i en els valors de consum

Els hàbits i valors alimentaris de la societat tenen un paper significatiu com a conductors de la producció agrària, ja que el consum humà de productes agroalimentaris seria el destí final natural d'aquests productes (fig. 1). Això fa que una via possible d'incidir en el canvi climàtic per mitjà dels sistemes agraris sigui indirectament a través dels hàbits alimentaris i de consum socials. Entre algunes de les mesures de dieta i consum que poden afavorir-se com a mesures d'adaptació (i també de mitigació) es poden citar:

- *Disminució en la relació planta:animal (P:A) a la dieta.* En l'actualitat es disposa de molts coneixements sobre les necessitats de la dieta humana (Fairweather-Tait, 2003). Les proteïnes animals són més complexes que les vegetals, però una bona combinació dels vegetals (p.ex., llenties amb arròs, o el que és el mateix, cereal amb llegum) proporciona una qualitat de proteïna vegetal similar a l'animal. Se sap que una dieta basada en la proteïna vegetal és més saludable que una de molt carnívora; diverses malalties s'han relacionat amb una dieta massa rica en proteïna animal (Fairweather-Tait, 2003). Però resulta difícil determinar quina seria la proporció P:A correcta per a la nostra espècie (Cordain *et al.*, 2000; Fairweather-Tait, 2003). Energèticament seria més eficient i caldria menys superfície de cultiu si els humans consumissin directament tota la proteïna vegetal en comptes d'utilitzar una bona part dels cultius per alimentar al bestiar (Pimentel i Pimentel, 2003). Sota condicions de canvi climàtic, però, s'han fet simulacions de substitució de proteïna animal per vegetal. La reducció del cost de la reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en el cas en què s'implementés una dieta saludable, amb reducció de carn, com seria el cas de la mediterrània tradicional, s'ha estimat en més de la meitat, mentre que una dieta totalment vegetariana implicaria una reducció a menys d'una quarta part (Stehfest *et al.*, 2009). Tanmateix, la proporció alta de proteïna animal a la dieta és un dels indicadors de desenvolupament dels països. Aquest índex està en flagrant contradicció amb els objectius

per al sector agrari i la societat sota condicions de canvi climàtic, i suggereix que a mesura que els països es tornen més rics, caldrà més superfície de cultiu.

- *Afavoriment del consum de productes frescos, de temporada i poc processats.* En aquest tipus de consum, a més de reduir emissions industrials, es pot estar reduint la despesa energètica. De nou, s'haurien de fer balanços entre la suma de la despesa energètica individual comparada amb el processament industrial, particularment si les indústries milloren les seves emissions i introdueixen sistemes energètics sostenibles en la seva producció. La potència del sector agroalimentari a Catalunya proporciona en aquest sentit una gran oportunitat.
- *Afavoriment del consum de la carn blanca en lloc de la roja.* La producció de metà, un gas d'elevada potencialitat d'efecte d'hivernacle, és més baixa en els animals monogàstrics (carn blanca): porcs, pollastres, conills, coloms, ànecs, perdis, guatlles, cavalls, que en els ruminants (carn roja): vaca, ovella, cabra; però s'ha de parar atenció als residus dels primers, que poden tenir un efecte negatiu sobre els gasos amb efecte d'hivernacle, particularment els òxids de nitrogen (Teira, 2008). Alguns productes carnis tenen una elevada taxa de transformació energètica: per exemple els pollastres ("broilers") criats per a carn. Aquest tipus de bestiar, però, necessita una font d'alimentació molt rica en energia i proteïna, com el panís i la soja, la qual pot requerir sistemes de producció molt forçats en algunes àrees de conreu.
- *Afavoriment de la producció ecològica de la carn vermella,* criada ecològicament en zones marginals (oví i boví a muntanya, oví i cabrum a secans àrids) a partir de la utilització dels recursos naturals, principalment, i segons mètodes tradicionals i càrregues ajustades, complint la normativa vigent; d'aquesta manera s'afavorirà la conservació de la biodiversitat dels ecosistemes pastorals (Sebastià *et al.*, 2008b), i els béns i serveis que aquesta proporciona en aquestes zones (Díaz *et al.*, 2007, Llurba *et al.*, 2008), incloent-hi la capacitat de mitigació del canvi climàtic per segrest de carboni (Sebastià *et al.*, en revisió).

- *Afavoriment de l'ofici de pastor*, ja que els pastors ben formats poden contribuir significativament a optimitzar la utilització dels recursos pels animals dins la ramaderia extensiva, i podrien tenir de nou un paper important dins de la reducció d'emissions a la trashumància i trastermitència si es torna al transport del bestiar tradicional. El moviment tradicional del bestiar podria fins i tot incorporar-se a l'oferta de la indústria del lleure.
- *Afavoriment de la disponibilitat i consum de productes ecològics*. Mentre els productes de la producció integrada i convencional arriben amb naturalitat al mercat, els productes ecològics encara constitueixen una raresa fora dels establiments especialitzats. A més, el seu cost acostuma a ser superior, ja que sovint no estan internalitzats en l'agricultura convencional els costos energètics dels fertilitzants i fitosanitaris. S'hauria d'aconseguir que productes obtinguts amb menys cost per al medi ambient i més capacitat de mitigació se significuessin, que la població els identifiqués i se n'afavorís la venda, i al mateix temps es carregués en cost els productes obtinguts amb emissions injustificadament elevades p. ex., amb una ecotaxa, i s'identifiquessin a les etiquetes (p.e., com en el cas del tabac i la salut). Els aliments ecològics són més nutritius i més segurs que els convencionals (Lairon, 2009).
- *Afavoriment de la producció de productes transformats ecològics*. Mentre als darrers anys Catalunya ha incrementat la producció ecològica dels productes bàsics, encara importa molts productes processats de països amb una tradició més gran de consum ecològic, la qual cosa incrementa la necessitat de transport i a més resta valor afegit als productes catalans, ja que es ven barata la matèria primera i es compren cars els productes manufacturats.
- *Afavoriment del consum de productes de proximitat*. Consumint aquest tipus de productes es redueixen les emissions per transport. Ara bé, s'haurien de tenir en compte tots els elements. Per exemple, caldria fer balanços acurats per saber si es gasta més energia emmagatzemant fruita a les càmeres frigorífiques o transpor-

tant fruita fresca de països llunyans. En el cas del comerç exterior, mitjançant pràctiques de comerç just de productes, es pot estar afavorint la sostenibilitat global del planeta (vegeu més a baix). A Catalunya el balanç entre productes agroalimentaris importats i exportats és semblant (fig. 15).

- *Afavoriment dels productes de comerç just*. El problema del canvi climàtic no és tant sols de Catalunya, i cada país té la seva problemàtica, riscos d'emissió i oportunitats de mitigació. L'afavoriment de relacions comercials justes amb països en desenvolupament pot tenir repercussions positives sobre la mitigació i desforestació. Calen balanços i models acurats sobre aquests aspectes.
- *Millora de la salut familiar mitjançant l'educació sobre dieta i consum*. La rebaixa de despesa sanitària aconseguida mitjançant la divulgació de mètodes de prevenció sens dubte tindrà un efecte positiu sobre la reducció d'emissions. La dieta mediterrània s'ha posat com a exemple de dieta saludable que millora la qualitat de vida i allarga l'esperança de vida (Keys, 1980; Sofi *et al.*, 2008). La dieta mediterrània es caracteritza per un elevat consum d'aliments d'origen vegetal; consum preferent de productes frescos de temporada; utilització

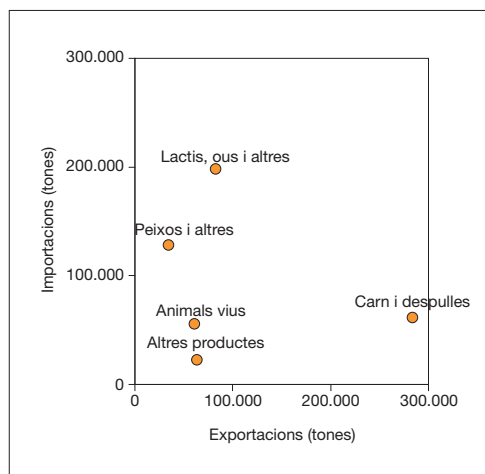


Figura 15. Relació entre les exportacions i les importacions a Catalunya dels principals productes relacionats amb les activitats pecuàries l'any 2000.

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Comerç amb l'estranger.

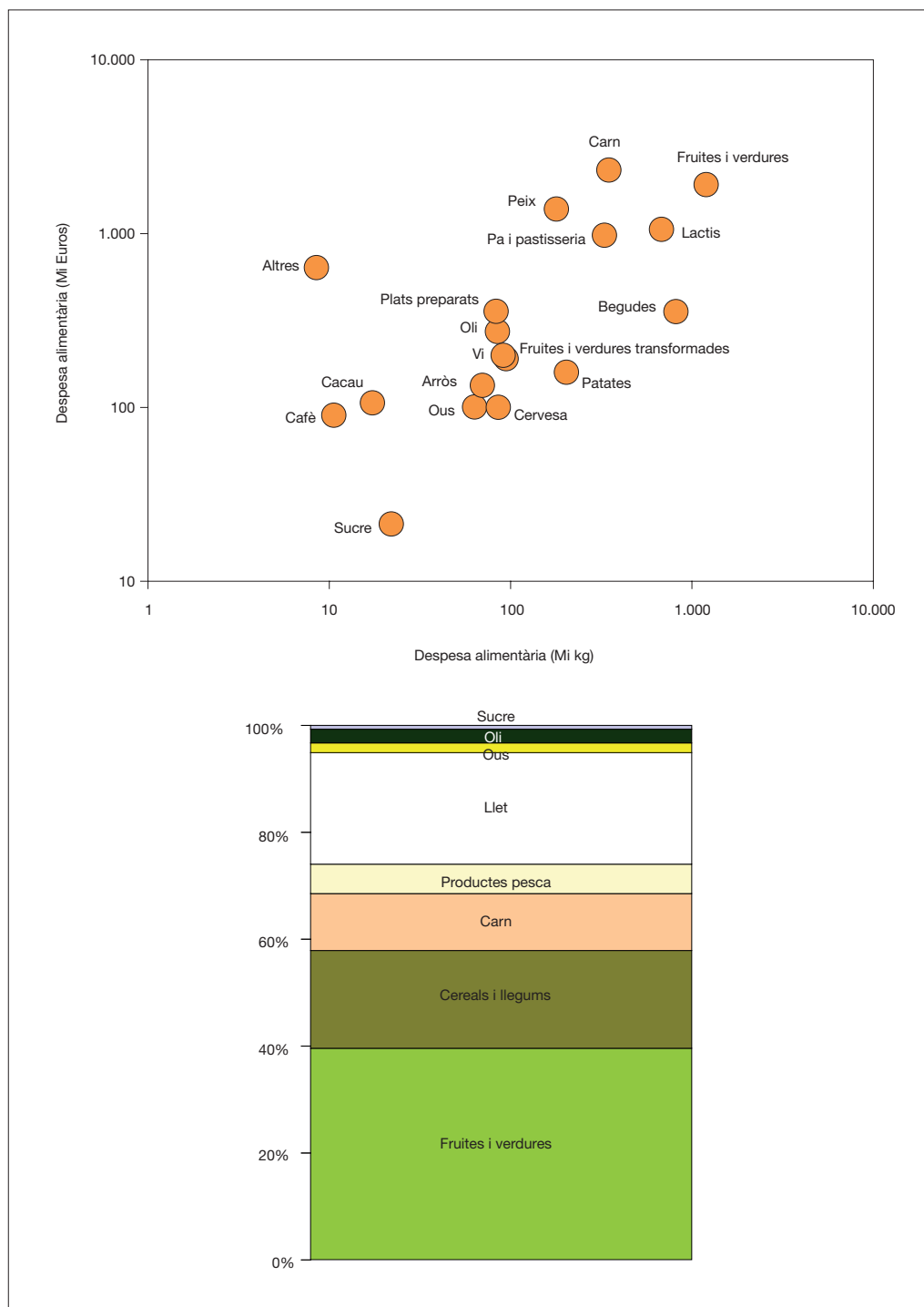


Figura 16. a) Relació entre la despesa alimentària dels catalans en milers d'euros i en milers de kilos, per tipus de producte. b) Percentatge de cada producte a la dieta dels catalans.

exclusiva d'oli d'oliva; consum diari d'una quantitat moderada de lactis i formatges; consum setmanal d'una quantitat moderada de peix, blau si és possible, d'aus i ous; consum de carn roja alguns cops al mes; consum de fruita seca, mel i olives amb moderació; consum de vi negre amb moderació durant els menjars; utilització d'herbes aromàtiques com a alternativa saludable a la sal; realització d'activitat física regular (Estruch, 2007). Per tant, aquesta dieta ja inclou moltes de les recomanacions per mitigar el canvi climàtic. Hi ha debat sobre si actualment se segueix la dieta mediterrània a Catalunya. S'ha dit que hi ha hagut una adaptació moderna d'aquesta dieta, amb un consum alt de fruita, verdures i oli d'oliva, però una reducció de llegums i cereals, i un augment de proteïna animal (fig. 16).

- *Reducció de la petjada ecològica de nadons i infants.* Hi ha moltes oportunitats per a la mitigació associades a les activitats relacionades amb nadons i infants. Pares que en d'altres circumstàncies són molt conscients dels problemes ambientals sovint rebaixen o es veuen obligats a rebaixar els seus estàndards quan els implicats són els seus fills petits.
- *Afavoriment de l'alletament matern durant la màxima quantitat de temps.* La primera mesura important de cara a la mitigació i adaptació al canvi climàtic pel que fa a la petjada ecològica dels nouvinguts, i de relleu per a l'agricultura i l'alimentació, és l'alletament. L'alletament és un procés energèticament barat i ecològicament molt sostenible, que emet prop de zero (només el cost afegit d'una mica de fruita seca a la dieta de la mare), i en canvi permet la reducció de gasos amb efecte d'hivernacle emesos per l'agricultura (en comparació amb el cost de produir llet i cereals per a les farinetes). Per tant, una mesura de lluita contra el canvi climàtic seria l'afavoriment de l'alletament exclusiu durant un període llarg, i el manteniment d'aquest durant bastant temps un cop introduït l'aliment sòlid. Per a això caldria canviar alguns discursos erronis de la nostra societat (González, 2004).
- *Reducció d'envasos i plàstics.* Una proporció elevada de l'energia en els productes agrícoles no és la inherent d'aquests sinó la dels costos

energètics derivats de la producció dels envasos. La internalització dels costos ambientals associats a les emissions de CO₂ que es donen en un procés productiu n'incrementarà el preu. D'altra banda, calen mesures per a aconseguir generar menys residus associats a aquestes activitats, des del productor i el distribuïdor, fins al comerç i el consumidor.

- *Gestionar els envasos correctament,* tant en l'explotació agrària com per part del consumidor. Els envasos dels productes fitosanitaris no es poden abandonar ni cremar (Sisquella *et al.*, 2009).

16.7. Els sectors agrícola, ramader i forestal a Catalunya: perspectives de futur sota condicions de canvi climàtic

16.7.1. Impactes del canvi climàtic a Catalunya

En aquest apartat es consideren els impactes possibles del canvi climàtic tenint en compte les amenaces externes i les vulnerabilitats internes del sistema agrari. El balanç final sobre els impactes del canvi climàtic als sistemes agraris dependrà també de factors externs de vegades aliens a les pròpies activitats agràries, com ara són el context socioeconòmic i la capacitat de resposta de la societat a l'adaptació al canvi climàtic. Per tant, s'exposaran els possibles impactes tenint en compte també les mesures proposades de mitigació i adaptació.

16.7.1.1. Impactes en els rendiments i la qualitat agraris

Els impactes del canvi climàtic sobre els rendiments dels sistemes agraris catalans i la qualitat dels seus productes dependran de nombrosos condicionants alhora, com s'ha esmentat amb anterioritat. Els impactes probables segons condicionants seran els següents:

- *Disminució de la rendibilitat a sistemes forestals i zones de secans càlides* en zones actualment amb precipitacions minses i temperatures altes. Reducció de la productivitat si no s'evita el dèficit hídric i les temperatures són més altes en zones actualment ja més vulnerables a les temperatures altes i la baixa disponibilitat d'aigua.

- *Abandonament de les activitats estrictament agrícoles per a usos pecuaris extensius o de conservació del patrimoni natural* en condicions extremes.
- *Increment del risc de pèrdua de superfície de sòl fèrtil i capacitat productiva* que pot ser necessària en un canvi de patrons, i pèrdua d'embornals de C i alliberament de C a l'atmosfera. Calen estratègies per mantenir l'ús d'aquestes terres o per fomentar l'establiment de comunitats vegetals resistents al canvi climàtic i que afavoreixin el manteniment de la diversitat i els béns i serveis que aquesta proporciona (ex., conservació dels sòls, regulació hidrològica,...).
- *Producció vegetal a zones de secans frescals*. La productivitat en algunes zones podria augmentar si les temperatures augmenten i s'eviten els efectes nocius de les temperatures massa altes en els moments crítics del cicle de cultiu. Augment de la rendibilitat per pujada de les temperatures i allargament del cicle vegetatiu a les zones actualment més frescals si hi ha aigua disponible. En aquests ambients és esperable una tendència cap a cultius de secans càlids en zones actualment amb cultius de secans frescals si disminueix la disponibilitat hídrica.
- *Manteniment de la producció vegetal a zones de regadiu* si s'evita l'efecte de les altes temperatures mitjançant mesures de mitigació.
- *Canvis en la distribució territorial de la producció agrària*. Sota condicions de canvi climàtic la producció agrària canviarà la seva distribució territorial, i aquest efecte ja s'està veient en l'actualitat, amb l'abandó de les zones més marginals i menys preparades per esmorteir els efectes del canvi climàtic (abandó preferencial de secans, fig. 5). Aquests canvis afectaran la producció agrària i la forestal, tot i que aquesta darrera tindrà un efecte d'inèrcia probablement més alt.

16.7.2. Impacte en la ramaderia

L'impacte del canvi climàtic sobre la ramaderia varia segons els sistemes intensius o extensius, i cadascun té les seves peculiaritats:

- *Productivitat animal en sistemes intensius*. Disminució de la productivitat animal associada a l'increment de temperatura i la disminució de precipitació en zones seques, a menys que es compensin el problemes de benestar animal amb l'adequació de les instal·lacions; disminució de la productivitat animal associada a malalties i plagues de nova aparició; augment de productivitat d'algunes espècies i races animals en zones actualment frescals.
- *Disminució de la productivitat animal en sistemes extensius* associada a l'increment de temperatura i la disminució de precipitació en zones seques, a menys que es canviï el tipus de bestiar (bestiar gros per bestiar petit o races de bestiar gros adaptades), o que es desplacin.
- *Disminució de la qualitat del producte d'origen animal* associada a l'estrès i reducció de benestar; aquests efectes poden contrarestar-se si s'implanten mètodes de producció ecològica o similars i s'adapten el sistemes de producció als condicionants ambientals, educant els consumidors a reconèixer els nous valors.

16.7.3. Impactes sobre els boscos de Catalunya

Els principals efectes i conseqüències ecològics del canvi climàtic sobre les espècies i sistemes forestals són (Vericat *et al.*, 2009):

- *Canvis fenològics*. Les noves condicions ambientals, i en particular l'augment de la temperatura, incideixen directament en la fenologia de les espècies vegetals. Per exemple, s'ha observat l'anticipació d'algunes setmanes del període de brotació i floració en un nombre important d'espècies en el curs dels darrers anys així com un retard en el període de caiguda de les fulles (Peñuelas *et al.*, 2002). Aquests canvis poden provocar una alteració important de les relacions tròfiques entre les plantes i els animals (p.ex. insectes, ocells) i provocar canvis dràstics en el funcionament dels ecosistemes (Peñuelas i Filella 2001).
- *Canvis fisiològics*. En general, l'augment de la concentració del CO₂ atmosfèric augmenta la productivitat dels sistemes forestals mitjançant l'increment de l'activitat fotosintètica de les fulles. No obstant això, en els sistemes mediterranis aquest efecte no és tan clar ja que es preveu que les condicions creixents de sequera provoquin un major tancament estomàtic en les plantes (amb l'objectiu de reduir les pèrdues d'aigua). Aquest fet limitaria i condicio-

naria la captura de carboni de les plantes ja que aquestes utilitzen els estomes com a via d'entrada del CO₂ (López *et al.*, 1997). Finalment, s'ha comprovat que la respiració de la plantes (procés a través del qual s'allibera CO₂ a l'atmosfera derivat dels processos d'oxidació de la matèria orgànica) augmenta amb l'increment de la temperatura ambient. L'increment del CO₂ atmosfèric, però, millorarà l'economia hídrica de les plantes, per una necessitat més baixa d'obrir estomes per captar CO₂ en una atmosfera enriquida d'aquest component. Si l'augment de l'activitat fotosintètica i la captura de C atmosfèric en les noves condicions ambientals no és proporcional, però, pot derivar en produccions primàries netes negatives i, per tant, en la disminució de l'estructura de l'ecosistema (Sebastià *et al.*, 2005).

- **Plasticitat i adaptació.** La capacitat que tinguin les plantes d'adaptar-se ràpidament al canvi climàtic, que va unida en general a la seva plasticitat fenotípica i variabilitat genètica, determinarà l'efecte d'aquest en el seu desenvolupament i distribució. En general, es consideren menys susceptibles a l'efecte climàtic aquelles espècies que exhibeixen una àrea de distribució més extensa o bé que presenten una major complexitat evolutiva com les alzines (*Quercus ilex* L.) o els roures (*Quercus sp.*) (Gracia *et al.*, 2004). No obstant això, Peñuelas *et al.* (2004) remarquen el fet que les espècies vegetals siguin més aviat conservadores des d'un punt de vista evolutiu i, per tant, reaccionin preferentment als canvis ambientals modificant la seva zona de distribució.
- **Canvis en les àrees de distribució de les espècies.** Diferents estudis paleoecològics han mostrat canvis en la reestructuració i distribució de les comunitats vegetals en resposta a canvis climàtics passats (Davis *et al.*, 1984), amb la qual cosa s'espera observar, en el context actual, un patró similar i el desplaçament de la distribució de les espècies forestals cap a zones on les condicions ambientals actuals permetin el seu desenvolupament allí on abans no era possible. En algunes zones s'han trobat ja proves d'aquest fenomen tot i que sovint hi ha un efecte emmascarador degut als canvis d'ús del territori, i en particular, al creixent abandó de

les activitats agrícoles i la ramaderes de muntanya. En alguns casos, però, sí que sembla ocórrer una progressiva substitució de la vegetació característica de sistemes temperats per espècies o comunitats més mediterrànies (Castro 2000; Peñuelas i Boada, 2003).

- **Pèrdua de biodiversitat i extinció d'espècies.** Es preveu que els canvis de les relacions de competència interespecífica, derivats de la diferent resposta de les espècies enfront del canvi climàtic, i les dificultats que algunes espècies puguin presentar per colonitzar àmbits més favorables per al seu desenvolupament, puguin comprometre la supervivència d'aquelles espècies o comunitats endèmiques més sensibles. Malgrat que calen més estudis per determinar l'abast d'aquesta qüestió, alguns models com els desenvolupats per Thuiller (2005) apunten a les zones de muntanya mediterrànies com un dels àmbits més susceptibles de patir pèrdues de biodiversitat com a conseqüència del canvi climàtic.

16.7.4. Distribució geogràfica de la producció agrària sota canvi climàtic

Com a resum dels subapartats anteriors, en condicions de canvi climàtic es poden fer unes previsions de com la producció agrària —agrícola, ramadera i forestal— podria distribuir-se al territori català. Les nombroses incerteses aconsellen ser cauts, però, en base als escenaris climàtics previstos (Calbó *et al.*, 2010) per donar unes recomanacions generals. Segons aquestes projeccions, es poden fer algunes suggerències, i dur a terme unes projeccions de resposta possible.

Les especificitats de cadascuna de les zones productives catalanes i els seus condicionants ambientals diferencials fan que no es pugi parlar d'unes repercussions úniques del canvi climàtic a Catalunya, ni d'una estratègia comuna, sinó de multiplicitat de solucions i també d'oportunitats, que haurien de tenir en consideració un model productiu agrari que incorporés els nous condicionants i que permetés utilitzar la diversitat biològica i ambiental com a valor per augmentar l'eficiència de gestió i assegurar la producció. Els reptes i oportunitats de cadascuna de les zones de producció dependran de les projeccions climàtiques futures per a cada zona (Calbó *et al.*,

2010), dels condicionants actuals i de la capacitat d'anticipació als canvis que es tingui. Globalment, hi ha tres situacions generals principals diferenciades: zones on es preveu que augmentin les precipitacions a més de les temperatures, com és el cas d'algunes àrees pirinenques, i zones on es projecta una disminució de les precipitacions a més d'incrementar-s'hi les temperatures, i per tant on el dèficit hídric s'agreuja en condicions naturals; aquestes darreres es poden diferenciar entre zones de secans i zones de regadiu. Els conreus de secà són els més vulnerables, particularment en els llocs on ja actualment el clima és més extrem i l'agricultura és marginal (taula 6). A zones de secans càlids els usos haurien de ser: conservació del patrimoni natural i la biodiversitat; usos energètics combinats amb cultius resistents; usos cinegètics, i ramaderia extensiva de petits remugants amb càrregues ajustades. En zones on en l'actualitat les condicions són més frescals i no existeix possibilitat d'establir regadius o incrementar la disponibilitat d'aigua, es podran cultivar els conreus típics de secà. Es podrà produir una redistribució de la producció vegetal dins d'uns marges, segons restriccions també de la disponibilitat de terreny cultivable, que disminueix a les zones de muntanya per raons topogràfiques. Les zones actuals marginals quedaran per a ramaderia molt extensiva amb bestiar petit o per a usos de conservació del patrimoni natural.

Pel que fa a impactes i estat de la qüestió de les diferents zones productives catalanes, es poden descriure aquestes situacions diferenciades al mapa agrari català sota condicions de canvi climàtic:

a) *Els cultius de secà a la costa, vinya, olivera i fruita seca.* Les zones costaneres s'enfronten a una possible reducció global de pluviometria, reducció que pot arribar a assolir del 20 al 40% a l'estiu, però que, a més, manté unes previsions negatives al llarg de l'any. Aquesta dada lligada al fet que els cultius esmentats es produeixen majoritàriament en secà, posa de manifest la necessitat d'adoptar estratègies de conservació d'aigua. Cal tenir en compte, a més, que en aquestes condicions coexisteixen una elevada erodibilitat del sòl —relacionada amb el règim d'aridesa— i una elevada ero-

sionabilitat de les precipitacions —relacionada amb la seva intensitat. Per tant, potser també caldria posar en marxa estratègies per protegir el sòl, com el cultiu en feixes, encara que pugui no ser econòmicament rendible. Les cobertes vegetals al sòl, siguin aquestes de restes seques o bé constituint una coberta vegetal verda, poden tenir un interès per fer front a aquestes condicions alhora que es contribueix a l'increment del C segrestat al sistema. El manteniment de cobertes verdes dependrà en tot moment de l'aigua disponible com a factor limitant. La vinya ja està tirant cap al nord.

b) *Els regadius al litoral.* A banda dels cultius arboris de secà, a la zona litoral són abundants els cultius de regadiu, entre els que destaquen els cultius hortícoles protegits o semiextensius, els cultius ornamentals i els fruiters. La disponibilitat d'aigua de reg permet fomentar l'acumulació de matèria orgànica i evitar l'erosió del sòl. El factor clau en aquests sistemes és la conjugació dels cicles vitals de les espècies cultivades amb les situacions climàtiques extremes, la possibilitat de donar-se problemes per manca de vernalització o per un desacoblament del fotoperíode amb les temperatures. La utilització de la diversitat cultivada, específica o varietal, pot constituir un element interessant per tal de reduir els efectes adversos de les condicions ambientals adverses (inesperades). Cal també pensar que aquestes són zones de concentració de població molt elevades, per la qual cosa s'han de mantenir els cultius d'horta, per tal d'afavorir les xarxes reduïdes de producció-consum. Per competència de l'ús del sòl en les zones litorals amb usos lúdics, etc. en aquests últims anys de consumisme desmesurat, el sòl agrícola especialment dels secans està en perill d'abandó. Convé desenvolupar estratègies que evitin el seu abandó i la pèrdua de sòl no urbà, ja que aquest sòl podria ser molt necessari.

c) *Els secans de l'interior:* Estratègies de conservació de l'aigua caiguda a l'hivern, ja que sembla que la reducció de precipitacions és major a l'estiu i tardor. Problemes per nascència de tardor al secà: no s'hauria de llaurar a l'agost. Incorporar la sembra directa. Risc alt d'abandó d'aquestes zones.

- d) *Els regadius de la Depressió central catalana.* És urgent augmentar-hi l'eficiència de l'ús de l'aigua, ja que en termes generals a Catalunya hi haurà una reducció d'aigua disponible. Utilització de cobertes farratgeres mixtes. Donar un major pes a l'alimentació humana cercant una reducció de la importació i xarxes de consum local. Introducció de diversitat sembrada.
- e) *Muntanya.* Si hi ha baixa pluviositat a l'estiu, s'espera menor producció de farratge estival, major dependència de les petites franges irrigades; això implicarà menor càrrega ramadera, i canvis en la composició i qualitat del farratge en pastures naturals.

16.8. Observacions finals: reptes i oportunitats per a l'agricultura, la ramaderia i la silvicultura catalanes en el context del canvi climàtic

És d'interès de tots els estaments de la societat —polítics i governs, organitzacions internacionals governamentals i no governamentals, empreses, mitjans de comunicació i ciutadans en general— treballar conjuntament per desenvolupar alternatives, trobar solucions i enfrontar-se als canvis que aquest repte representa. Les mesures hauran de ser descendents (*top-down*), dels dirigents establint normatives per als ciutadans, però també ascendents (*bottom-up*), dels ciutadans organitzant-se, desenvolupant i proposant accions als gestors i dirigents, i reclamant solucions; tot-hom s'hi haurà d'implicar. No és d'interès per a governs, ni empreses, ni la societat civil, el camí cap a societats desestructurades on els conceptes ciutadà i client hagin perdut el seu sentit, però potser és necessari que aquests conceptes es redefineixin si volem persistir.

Tot i que existeixen moltes incerteses sobre el canvi climàtic i les seves conseqüències per als sistemes agraris, hauria de primar el principi de precaució. Els canvis vindran imposats per les circumstàncies, però poden planificar-se amb anticipació, malgrat les incerteses, de manera que siguin menys traumàtics i dirigits pels humans, no per les circumstàncies. Ara bé, el canvi climàtic sens dubte comportarà compromisos i eleccions. Per exemple, si es redueix el bestiar ruminant disminueix l'emissió de metà, però la ramaderia extensiva té un paper fonamental en el

manteniment de prats i pastures, de la seva diversitat, i de la capacitat de proporcionar béns i serveis, incloent-hi la capacitat de segrestar molt de carboni al sòl (Soussana *et al.*, 2009).

D'altra banda, el món actual manté una gran complexitat d'interconnexions a escala global. Encara hi ha moltes incerteses, per exemple sobre les mesures que permetrien una mitigació més eficient: ¿Emet menys gasos amb efecte d'hivernacle mantenir la fruita a les cambres gastant electricitat, transformar-la industrialment en productes persistents, o portar-la de temporada des de Sud-àfrica? Tenint en compte que el canvi climàtic és un problema global, ¿què és més favorable sobre la capacitat global de mitigació del planeta, comprar productes de proximitat o portar-los de països en vies de desenvolupament a un preu just? ¿És més favorable en termes d'emissions afavorir sistemes de producció animal ecològica o aquells que maximitzin l'eficiència de transformació de la producció primària? ¿Quin és el balanç d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle entre el bestiar ruminant que emet molt metà, i el porcí i aviram, que pot generar molts òxids de nitrogen si els residus no es gestionen bé? ¿Quins són els balanços de gasos amb efecte d'hivernacle i consum d'aigua entre el processat particular dels productes agroalimentaris respecte del processat industrial? ¿Com poden articular-se les indústries de transformació amb l'agricultura, ramaderia i silvicultura per donar valor afegit als productes al temps que s'assoleixen objectius de mitigació del canvi climàtic? Es poden plantejar moltes preguntes com aquestes, i les respostes no sempre són clares. Es tracta de balanços complexos i cal fer bé els comptes.

La introducció de mètodes d'obtenció d'energia renovable a les explotacions és fonamental, i constitueix una oportunitat, particularment en zones marginals, on es poden combinar l'agricultura i ramaderia extensives amb els usos energètics (panells fotovoltaics i cultius mixtos amb espècies d'interès energètic i ús de protecció del sòl). L'aposta per la introducció de diversitat en els cultius és un altre desafiament. En aquest cas, s'hauria de canviar el discurs entre la població agrícola, tot i que sembla que hi ha un ambient de canvi. S'haurien de definir i resoldre bé tots els reptes tecnològics d'aquests tipus de cultius,

incloent-hi els cultius mixtos de llenyoses, d'herbàcies, i la combinació dels dos. Les rotacions sembla que estan més interioritzades entre els agricultors que no pas la combinació de cultius en el mateix espai.

En resum, pel que fa a l'agricultura i ramaderia, cal afavorir l'eficiència de la transformació energètica en sistemes intensius (cultius i ramaderia; carn blanca i producció làctia, preferentment), i promoure la producció de carn ecològica de qualitat (vacú, oví i caprí, i equí) en sistemes extensius en zones marginals (zones àrides i de muntanya), amb valors afegits de biodiversitat, béns i serveis. Cal disminuir la intensificació i afavorir la diversitat sembrada en el temps (policultius) i en l'espai (rotacions). Cal combinar els usos agraris i els energètics.

Pel que fa a la silvicultura, calen diverses actuacions: promoure la gestió de les masses i la planificació contra incendis per a la reducció de la vulnerabilitat; promoure també l'ús de biocombustibles i de fusta com a element constructiu; mantenir els boscos madurs com a estratègia de manteniment del carboni fixat a la biomassa i al sòl per a la mitigació; realitzar tractaments silvícoles de millora i tallades; promoure les masses mixtes i la diversitat d'espècies; integrar el risc d'incendi en la gestió forestal; potenciar la planificació forestal i eines de gestió en general, per a l'adaptació. Tot això sense oblidar la possibilitat de reservar boscos no gestionats per a fins de manteniment de la biodiversitat, compatibles amb els altres usos.

En resum, per a les indústries de transformació: cal l'anàlisi detallada sobre la integració de la xarxa indústria-consum-producció sota aspectes de canvi climàtic, i l'avaluació correcta dels balanços de gasos amb efecte d'hivernacle, d'aigua i d'energia associats a les indústries en comparació amb processats particulars o alternatives globalitzades.

Per acabar, la connectivitat dels bucles components dels sistemes agraris permet que d'una banda es pugui regular l'oferta agrària local amb subvencions i aplicació de costos reals que portaran a preus reals, els quals alhora regularan la demanda. De l'altra, permet incidir sobre els costums d'alimentació i consum de la societat en general, de manera que s'adapti l'oferta a les

circumstàncies de canvi climàtic actuals, i es modifiqui la demanda per sensibilització de la població. La millor inversió que pot fer una societat pel seu futur i en la lluita contra el canvi climàtic és invertir en educació de qualitat per als seus ciutadans. Aquesta és la recepta bàsica per solucionar les crisis, tant econòmiques com ambientals.

Referències

- ALBAIGES, R.; ROMAGOSA, I. (2002). «Retos tecnológicos en la producción agrícola catalana». Jornada Autonómica de Cataluña. Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural. <<http://www.libroblancoagricultura.com/libroblanco/jautonomica/cataluna/ponencias.asp>>
- ALCAMO, J., MORENO, J.M. [et al.], (2007). «Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change». A. O. F. C., PARRY, M.L.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (eds). Cambridge (UK): Cambridge University Press, p. 541-580.
- ALCAÑIZ, J.M.; BOIXADERA, J.; FELIPÓ, M.T. [et al.] (2010). «Sistemes naturals i diversitat biològica: Sòls». A: LLEBOT J.E. (ed): Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i CADS.
- ANDERSON, N.; STRADER, R.; DAVIDSON, C. (2003). «Airborne Reduced Nitrogen: Ammonia Emissions from Agriculture and Other Sources». *Environ.Int.*, 29 (2-3), p. 277-286.
- ARAUJO, M.B.; CABEZA, M.; THUILLER, W. [et al.] (2004). «Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve selection methods». *Global Change Biology* 10, p.1618-1626.
- ASIN, L.; PONS, X. (2001). «Effect of high temperature on the growth and reproduction of corn aphids (*Homoptera: Aphididae*) and implications for their population dynamics on the northeastern Iberian Peninsula». *Population Ecology*, 30, p. 1127-1134.
- Atlas Estadístic dels Pirineus (2010). <http://atlas.ctp.org/site_ct/index_ct.php?lang=ct> (20/05/2010).
- AYRES M.P.; LOMBARDO M.J. (2000). «Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens». *The Science of the Total Environment*, 262, p. 263-286.

- BAKER, B.B.; HANSON, J.D.; BOURDON, R.M.; ECKERT, J.B. (1993). «The potential effects of climate change on ecosystem processes and cattle production on US rangelands». *Climatic Change*, 25, p. 97-117.
- BAKKENES, M.; ALKEMADE, J.R.M.; ILHE, F. [et al.] (2002). «Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050». *Global Change Biology*, 8, p. 390-407.
- BALE, J.S.; MASTERS G.J.; HODKINSON I.D. [et al.] «Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores». *Global Change Biology*, núm 8, p. 1-16.
- BATTISTI A.; STASTNY M.; NETHERER S. [et al.] (2005). «Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures». *Ecological Applications*, núm 15, p. 2084-2096.
- BATTISTI A.; STASTNY M.; BUFFO E.; LARSSON S. (2006). «A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the (2003) climatic anomaly». *Global Change Biology*, 12, p. 662-671.
- BAXTER S.J.; OLIVER, M.A.; GAUNT, J.; GLENDINING, M.J. (2003). «Simulating the spatial variation of soil mineral n within fields using the model sundial». A: STAFFORD, J; WERNER, A. (eds.). *4th European Conference on Precision Agriculture*. Berlin (Germany), p.75-80.
- BAYFIELD, N.; BARANCOK, P.; FURGER, M. [et al.] (2008). «Stakeholder perceptions of the impacts of rural funding scenarios on mountain landscapes across Europe». *Ecosystems*, 11, p. 1368-1382.
- BENTELEY R.W. (2002). «Global oil & gas depletion: an overview». *Energy Policy*, 30, p. 189-205.
- BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. (2000). «Responses to abiotic stress». A: BUCHANAN, B.B.; GRUISSSEM, W.; JONES, R.L. *Biochemistry and molecular biology of plants*. American Society of Plant physiologists, p. 1158-1203.
- BROWN, M.E.; FUNK, C.C. (2008). «Food security under climate change». *Science*, 319, p. 580-581.
- BROWN BRANDL, T.M.; NIENABER, J.A.; EIGENBERG, R.A. [et al.] (2006). «Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds». *Livestock Science*, 105, p. 19-26.
- BUNCE, J.A.; ZISKA, L.H. (2000). «Crop ecosystem responses to climatic change: crop/weed interactions». A: Reddy, K.R.; Hodges, H.F. (eds.). *Climate change and global crop productivity*. Wallingford (UK): CABI Publishing, pp. 333-352.
- BURRIEL, J.A.; GRACIA, C.; IBÁÑEZ, J.J. [et al.] (2000-2004). *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya*. CREA, Bellaterra.
- CALBÓ, J. (2009). «Models i projeccions globals». A: LLEBOT J.E. [ed] (2010): *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: CADS i Institut d'Estudis Catalans.
- CAMPRODÓN, J. (2008). «Elementos biológicos a tener en cuenta en la planificación forestal a escala de rodal y de paisaje». *Cuaderno de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 27, p. 79-86.
- CASTELLNOU, M. (2005). «Aprenent del passat per a gestionar el territori en el futur. Anàlisi dels majors incendis forestals a Catalunya (Sant Llorenç Savall, Berguedà, Solsonès) com a base per a planificar la prevenció d'incendis forestals i gestió del risc d'incendi: el cas de Sant Llorenç Savall». A: PIQUÉ M. [ed.]. *XXII Jornades Tècniques Silvícules*. Consorci Forestal de Catalunya. P. 53-62.
- CASTRO, J. 2000. *Dinámica de la regeneración de los pinares autóctonos de pino silvestre (Pinus sylvestris L. var. nevadensis Christ) de Sierra Nevada y Sierra de Baza*. Granada: Universidad de Granada. (Tesis doctoral).
- CASTRO, F.X.; TUDELA, A.; SEBASTIA, M.T. (2003). «Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain)». *Agricultural and Forest Meteorology*, 116, p. 49-59.
- CESCHIA, E.; BÉZIAT, P.; DEJOUX, J.F. [et al.] (2010). «Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites». *Agriculture, Ecosystems and Environment* (en premsa).
- CHAKRABORTY, S.I.; DATTA S. (2003). «How will plant pathogens adapt to host plant resistance at elevated CO₂ under a changing climate?». *New Phytologist*, 159, p. 733-742.
- CHRISTIANSEN, M.N.; LEWIS, C.F. (1982). «Breeding plants for less favorable environments». New York: Wiley.
- CLARKE, A.; FRASER, K.P.P. (2004). «Why does metabolism scale with temperature?». *Functional Ecology*, 18, p. 243-251.
- CMMAD (1988). Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo. «Informe Brundtland: Nuestro futuro común». Madrid: Alianza Editorial.
- COAKLEY, S.M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. (1999). «Climate change and plant disease management». *Annual Review of Phytopathology*, 37, p. 399-426.

- COLLIER R.; FELLOWS J.; ADAMS S. [et al.] (2008). «Vulnerability of horticultural crop production to extreme weather events». *Aspects of Applied Biology*, 88, p. 3-13.
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. (1998). «El cambio climático. Hacia una estrategia post-Kioto». Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Bruselas, 3 de junio de 1998.
- CORDAIN, L.; MILLER, J.B.; EATON, S.B. [et al.] (2000). «Plant-animal subsistence ratios and macronutrient energy estimations in worldwide hunter-gatherer diets». *American Journal of Clinic Nutrition*, 71, p. 682-692.
- COÛTEAUX, M.M.; BOTTNER, P.; ANDERSON, J.M. [et al.] (2001). «Decomposition of ^{13}C -labelled standard plant material in a latitudinal transect of European coniferous forests: Differential impact of climate on the decomposition of soil organic matter compartments». *Biogeochemistry*, 54, p. 147-170.
- DA SILVA, R.G. (2006). «Weather and climate and animal production». A: *Update of the guide to agricultural meteorological practices*. WMO 134.
- DAR (2007). «Informe anual de la indústria i el consum agroalimentari a Catalunya». Generalitat de Catalunya.
- (2008). «Dades bàsiques de l'agroalimentació a Catalunya». Generalitat de Catalunya.
- (2010). «Informe anual avançat de la indústria i el consum agroalimentari a Catalunya». Generalitat de Catalunya. <http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR/>.
- DAVIDSON, E.A.; ECKERT, R.W.; HART, S.C.; FIRESTONE, M.K. (1989). «Direct Extraction of Microbial Biomass Nitrogen from Forest and Grassland Soils of California». *Soil Biology & Biochemistry*, 21 (6), p. 773-778.
- DAVIS, M.B. (1984). «Climatic instability, time lags, and community disequilibrium». A: DIAMOND, J.; CASE, T.J. [eds.] *Community Ecology*, pp. 269-284., New York: (US): Harper and Row.
- DE DEYN, G.; CORNELISSEN, J.H.C.; BARDGETT, R.D. (2008). «Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes». *Ecology Letters*, 11:516-531.
- DE GROOT, R.S. (1994). «Environmental functions and the economic value of natural ecosystems». A: JANSSON A.M., HAMMER M., FOLKE C., COSTANZA, R. *Investing in natural capital. The ecological economics approach to sustainability*. International Society for Ecological Economics. Washington DC: Island Press.
- DE LUIS, I. (2000). *Efectos del aumento de la concentración de CO_2 atmosférico en plantas de alfalfa fijadoras de nitrógeno bajo condiciones de estrés*. Pamplona: Universidad de Navarra. (Tesi doctoral).
- DEL PRADO, A.; MERINO, P.; ESTAVILLO, J.M. [et al.] (2006). « N_2O and NO Emissions from Different N Sources and Under a Range of Soil Water Contents». *Nutrition Cycling Agroecosystem*, 74 (3), p. 229-243.
- DESJARDINS, R.L.; SMITH, W.; GRANT, B. [et al.] (2005). «Management Strategies to Sequester Carbon in Agricultural Soils and to Mitigate Greenhouse Gas Emissions». *Climate Change*, 70, p. 283-297.
- DEUDON, O. (2001). «Changements climatiques. Quelles conséquences pour l'agriculture?». *Perspectives agricoles*, 266, p. 44-61.
- DGCN [ed.] (1998). *Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1996*. Volumen de España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. pp. 337.
- DIAMOND, J. (2005). «Collapse: how societies choose to fail or succeed». Viking Books.
- DÍAZ, S.; LAVOREL, S.; DE BELLO, F. [et al.] (2007). «Incorporating Plant Functional Diversity Effects in Ecosystem Service Assessments». *Proc.Natl.Acad.Sci. U.S.A.*, 104 (52), p. 20684-20689.
- DOMÍNGUEZ G.; PLANA, E. (2002). «The paradox of Mediterranean forests; between economic profitability and social demands. The Catalan case». A: WIERSUM, K.F.; ELANDS, B.H.M. [eds]. *The changing role of forestry in Europe: perspectives for rural development*. Wageningen: Wageningen University, Forest and Nature Conservation Policy Group.
- DUKES, J.S.; MOONEY, H.A. (1999). «Does global change increase the success of biological invaders?». *Trends in Ecology and Evolution*, 14, p. 135-139.
- DURÁN, Z.V.H.; RODRÍGUEZ, P.C.R. (2008). «Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review». *Agronomy for sustainable development*, 28, p. 65-86.
- EC 2009. European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. The Common Agricultural Policy Explained. <<http://ec.europa.eu/agriculture/>>.
- ESTRUCH, R. (2007). «La dieta saludable». A: RODÉS, J.; PIQUÉ, J.M.; TRILLA, A. *Libro de la salud del Hospital Clínico de Barcelona y la Fundación BBVA*. Bilbao: Fundación BBVA.

- EUN, J.S.; FELLNER, V.; GUMPertz M.L. (2004). «Methane production by mixed ruminal cultures incubated in dual-flow fermentors». *Journal Dairy Science*, 87, p. 112-121.
- EVANS, T.E. (1997). «Les effets des changements dans le cycle hydrologique mondial sur la disponibilité des ressources en eau». A: BAZZAZ, F.A.; SOMBROEK, W.G (eds). *Changements du climat et production agricole*. Roma, Paris: Food and Agriculture Organization.
- FAIRWEATHER-TAIT, S.J. (2003). «Human nutrition and food research: opportunities and challenges in the post-genomic era». *Philosophical Transactions of the Royal Society London B*, 358, p. 1709-1727.
- FAO 2008. Conferencia de alto nivel sobre la seguridad alimentaria mundial: los desafíos del cambio climático y la bioenergía. HLC/08/INF/7. Roma: Food and Agriculture Organization.
- FLEMING, A.; VANCLAY, F. (2009). «Farmer responses to climate change and sustainable agriculture. A review». *Agronomy for Sustainable Development*, 30, p. 11-19. DOI 10.1051/agro/2009028.
- FORNARA, D.A.; TILMAN, D. (2008). «Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation». *Journal of Ecology*, 96, 314-322 DOI 10.1111/j.1365-2745.2007.01345.X
- FRENCH, S.; LEVY-BOOTH, D.; SAMARAJEEWA, A.; [et al.]. (2009). «Elevated Temperatures and Carbon Dioxide Concentrations: Effects on Selected Microbial Activities in Temperate Agricultural Soils». *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25 (11), p. 1887-1900.
- FUHRER, J. (2006). «Agricultural systems: sensitivity to climate change. CAB reviews: perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources», 52.
- GARCÍA-ISPIERTO, I.; LÓPEZ-GATIUS, F.; BECH-SABAT, G.; [et al.] (2007). «Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain». *Theriogenology*, 67, p. 1379-1385.
- GARRIGA, R. (2010). «Anàlisi sectorial: indústria». A: LLEBOT J.E. [ed] (2010). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: CADS i Institut d'Estudis Catalans.
- GATES, D. M. (1993). *Climate change and its biological consequences*. Sunderland. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- GIL, A.; SAURA, S.; ALBERDI, I.; VILLANUEVA, A. (2008). «Canvis en l'estructura i diversitat dels boscos catalans entre 1989 i 2001, avaluats a partir de l'inventari forestal nacional». *Rural and Forest*, 9, p. 10-17.
- GILLOOLY, J.F.; BROWN, J.H.; WEST, G.B. [et al.] (2001). «Effects of size and temperature on metabolic rate». *Science*, 293, p. 2248-2251.
- GOLDSMITH, E. (2005). «Feeding the world under climate change. Institute of Science and Society». <<http://www.i.sis.org.uk/SACI.php>> <<http://www.aeet.org/ecosistemas/022/investigacion4.htm>>
- GONZÁLEZ, C. (2004). *Mi niño no me come*. Ed. Temas de Hoy, 216 p.
- GRACIA, C. (2010). «Embornals de carboni». A: LLEBOT J.E. [ed] (2010). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: CADS i Institut d'Estudis Catalans.
- GRACIA, C.; ABRIL, M.; BARRANTES, O. [et al.] (2004). *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Mètodes*. Barcelona: CREAM, Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals.
- GRACIA, C.; SABATÉ, S.; SÁNCHEZ, A. (2002). «El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo». *Ecosistemas*, 2002/2. <http://www.aeet.org/ecosistemas/022/investigacion4.htm>
- GREGORY, P.; JOHNSON, S.N.; NEWTON, A.C.; INGRAM, S.I. (2009). «Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate». *Journal of Experimental Botany*, 60, p. 2827-2838.
- GROFFMAN, P.M.; ALTABET, M.A.; BOHLKE, J.K. [et al.] (2006). «Methods for Measuring Denitrification: Diverse Approaches to a Difficult Problem». *Ecology Applied*, 16 (6), p. 2091-2122.
- GUO, L.B.; GIFFORD, R.M. (2002). «Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis». *Global Change Biology*, 8, p. 345-360.
- HAAS, G.; KÖPKE, U. (1994). «Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung». A: Enquete Kommission Schutz der Erdatmosphäre des Deutschen Bundestages (ed). *Schutz der Grünen Erde, Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder*. Bonn: Economica.
- HAHN G.L. (1989). «Bioclimatology and livestock housing: theoretical and applied aspects». *Proceedings of Brazilian Workshop on Animal Bioclimatology*. Jaboticabal, Brazil, p. 15.
- (1999). «Dynamic responses of cattle to thermal heat loads». *Journal of Animal Science*, 77 (suppl.2), p. 10 - 20.

- HAHN, G.L.; MADER, T.L.; GAUGHAN, J.B. [et al.] (2000). «Heat waves and their impacts on feedlot cattle». A: DE DEAR, R.J.; KALMA, J.D.; OKE, T.R.; AULICIEMS, A. [eds.]. *Biometeorology and Urban Climatology at the turn of the millennium: Selected papers from the Conference ICB-ICUC'99*. Sydney, 8-12 November 1999.
- HAHN, G.L.; MADER, T.L.; EIGENBERG, A. (2003). «Perspectives on development of thermal indices for animal studies and management». *Proceedings Symposium Interactions between climate and animal production. EAAP Technical series*, 7, p. 31-44.
- HANNUKALA, A.O.; KAUKORANTA, T.; LEHTINEN, A.; RAHKONEN, A. (2007). «Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933-2002, increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation». *Plant Pathology*, 56, p. 167-176.
- HARRINGTON, R.; CLARK, S.J.; WELHAM, S.J. [et al.] (2007). European Union Examine Consortium. «Environmental change and the phenology of European aphids». *Global Change Biology*, 13, p. 1550-1564.
- HAWKINS, M.J.; HYDE, B.P.; RYAN, M. [et al.] (2007). «An Empirical Model and Scenario Analysis of Nitrous Oxide Emissions from a Fertilised and Grazed Grassland Site in Ireland». *Nutrition Cycling Agroecosystem*, 79 (1), p. 93-101.
- HEENAN, D.P.; CHAN, K.Y.; KNIGHT, P.G. (2004). «Long-Term Impact of Rotation, Tillage and stable management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol». *Soil and Tillage Research*, 76 (1), p. 59-68.
- HILLEL, D. (2009). «The Mission of Soil Science in a Changing World». *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 172 (1), p. 5-9.
- ICONA (1994). II Inventario Forestal Nacional 1986-1994, Cataluña. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- IDESCAT (2008). *Demografia i qualitat de vida*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Institut d'Estadística de Catalunya.
- (2009). «Els canvis en les explotacions agràries catalanes (1999-2007)». *Dossiers IDESCAT*, 2. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Institut d'Estadística de Catalunya.
- (2010). *Estadística de l'estructura de les explotacions agràries (2007)*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Institut d'Estadística de Catalunya.
- IPCC (2007). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, PACHAURI, R.K.; REISINGER, A. (eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp. 104.
- INCLÁN, R.; RIBAS, A.; PEÑUELAS, J.; GIMENO, B.S. (1999). «The relative sensitivity of different Mediterranean plant species to ozone exposure». *Water, Air, and Soil Pollution*, 116, p. 273-277.
- JACINTHE, P.A.; DICK, W.A. (1997). «Soil Management and Nitrous Oxide Emissions from Cultivated Fields in Southern Ohio». *Soil and Tillage Research*, 41 (3-4), p. 221-235.
- JOHNSON, H.D. (1987). «Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production». A: *Bioclimatology and the adaptation of livestock*. The Netherlands: Elsevier.
- JOHNSON, J.M.; FRANZLUEBBERS, A.J.; WEYERS, S.L.; REICOSKY, D.C. (2007). «Agricultural Opportunities to Mitigate Greenhouse Gas Emissions». *Environmental Pollution*, 150 (1), p. 107-124.
- JONES, E.R.L. (2003). «Brown rust of wheat». *United Kingdom Cereal Pathogen Virulence Survey (2002). Annual Report*, p. 19-31.
- JONES, A.; STOLBOVOY, V.; RUSCO, E. [et al.] (2009). «Climate change in Europe. 2. Impact on soil. A review». *Agronomy for sustainable development*, 29, p. 423-432.
- JONSSON, M.; WARDLE, D.A. (2008). «Context Dependency of Litter-Mixing Effects on Decomposition and Nutrient Release Across a Long-Term Chronosequence». *Oikos*, 117 (11), p. 1674-1682.
- KATERJI, N.; MASTRORILLI, M.; RANA, G. (2008). «Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis». *European Journal of Agronomy*, núm 28, p. 493-507.
- KEREN, E.N. (2005). *Thermal balance model for cattle grazing winter range*. USA: Montana State University. (PhD Diss).
- KEREN, E.N.; OLSON, B.E. (2006). «Thermal balance of cattle grazing winter range: Model application». *Journal of Animal Science*, 84, p. 1238-1247.
- KEYS, A. (1980). *Seven countries: a multivariate analysis of death and coronary heart disease*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- KHALIFA, H.H. (2003). «Bioclimatology and adaptation of farm animals in a changing climate». A: *Interactions between climate and animal production. Proceedings Symposium, EAAP. Technical series* 7, p. 15-29.

- KHAN, S.A.; MULVANEY, R.L.; ELLSWORTH, T.R.; BOAST, C.W. (2007). «The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration». *Journal of Environmental Quality*, 36, p. 1821-1832.
- KIRWAN, L.; LÜSCHER, A.; SEBASTIÀ, M.T. [et al.] (2007). «Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland systems across 28 European sites». *Journal of Ecology*, 95, p. 530-539.
- KOTSCHI, J.; MÜLLER-SÄMAN, K. (2004). «The Role of Organic Agriculture in Mitigating Climate Change – A Scoping Study». IFOAM. Bonn.
- KULL, O.; TULLUS, H.; (2000). «Estonia Country Report». A: KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPVETELÄINEN, T. (eds). «Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe». EFI Proceedings, 34 p.
- KUKLA, K.G. (1993). «Nighttime Warming, and the Greenhouse Effect». *Environmental Science and Technology*, vol. 27, 8, p. 1468-1474.
- KURIRHARA, M.; TERADA, F. (2001). «Livestock Production and Greenhouse Gas Emission». A: *Calidad de las Carnes Bovinas Argentinas*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. p. 55-68.
- LAIRON, D. (2009). «Nutritional quality and safety of organic food. A review». *Agronomy for Sustainable Development*, 19, p. 1-9.
- LAL, R. (2008). «Soils and sustainable agriculture. A review». *Agronomy for sustainable development*, 28, p. 57-64.
- (2009). «Laws of sustainable soil management». *Agronomy for sustainable development*, 29, p. 7-9.
- LANTZ, M.; SVENSSON, M.; BJÖRNSSON, L.; BÖRJESSON, P. (2007). «The prospects for an expansion of biogas systems in sweden-incentives, barriers and potentials». *Energy Policy*, núm 35, p. 1830-1843.
- LAVALLE, C.; MICALE, F.; HOUSTON, T. D. [et al.] (2009). «Climate Change in Europe. 3. Impact on Agriculture and Forestry. A Review (Reprinted)». *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (3), p. 433-446.
- LICHTFOUSE, E.; NAVARRETE, M.; DEBAEKE, P. [et al.] (eds) (2009). *Sustainable Agriculture*. Dordrecht: Springer.
- LORET, F.; SOLÉ, A.; VAYREDA, J. [et al.] (2009). «Atlas de plantes llenyoses dels boscos de Catalunya». Bellaterra (Barcelona): Lynx Edicions.
- LOBELL, D.B.; BURKE, M.B.; TEBALDI, C. [et al.] (2008). Prioritizing Climate Change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319, p. 607-610.
- LLURBA, R.; DE LAMO, X.; CUADROS, M. [et al.] (2008). «Biodiversity and ecosystem services in mountain grasslands: a case study in the Planes de Son (Central Pyrenees)». *Grassland Science in Europe*, 13, p. 132-134.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S.; RUÍZ, I.; GRACIA, C. (1997). «Effects of elevated CO₂ and decreased water availability on holm oak seedlings in controlled environment chambers». A: MOHREN G.M.J.; KRAMER K.; SABATÉ S. (eds). *Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 125-133.
- LUYSSAERT, S.E.; SCHULZE, D.; BÖRNER, A. [et al.] (2008). «Old-growth forests as global carbon sinks». *Nature*, 455, p. 213-215.
- MACDONALD, D.; CRABTREE, J. R.; WIESINGER, G. [et al.] (2000). «Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response». *Journal of Environmental Management*, 59, p. 47-69.
- MADER, T.L.; HOLT, S.M.; HAHN, G.L. [et al.] (2002). «Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle». *Journal of Animal Science*, 80, p. 2373-2382.
- MAFF (2000). Climate change and agriculture in the United Kingdom. PB4876. Summary A4. London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- MARM (2006). *Asistencia técnica para la implantación de IPPC*. Ministerio del Medio Ambiente, Rural y Marino.
- MARTÍNEZ-VILALTA, J.; PIÑOL, J.; BEVEN, K. (2002). «A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean». *Ecological Modelling*, 155 p. 127-147.
- McKERSIE B.D.; LESHEM, Y.Y. (1994). *Stress and Stress Coping in Cultivated Plants*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 256.
- MEA 2005. «Living Beyond Our Means: Natural Assets and Human Well-being». Millenium Ecosystem Assesment. <http://www.millenniumassessment.org/en/BoardStatement.aspx>
- MELICK, D. (2010). «Credibility of REDD and experiences from Papua New Guinea». *Conservation Biology*, 24, p. 359-361.
- MEYER, U.; EVERINGHOFF, M.M.; GÄDEKEN, D.; FLACHOWSKY, G. (2004). «Investigations on the water intake of lactating cows». *Livestok Production Science*, núm 90, p. 117-121.

- MIGLIETTA, F.; BINDI, M.; VACCARI, F.P. [et al.] (2000). «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Root and Tuberous Crops». A: REDDY, K. R.; HODGES, H.F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon (UK): CABI Publishing.
- NEWMAN, J.A. (2003). «Climate change and cereal aphids: the relative effects of increasing CO₂ and temperature on aphid population dynamics». *Global Change Biology*, 10, p. 5-15.
- OZIER-LAFONTAINE, H.; LAFOLIE, F.; BRUCKLER, L. [et al.] (1998). «Modelling competition for water in intercrops: theory and comparison with field experiments». *Plant and Soil*, núm 204, p. 183-201.
- PAILLET, Y.; BERGES, L.; HJALTÉN, J. [et al.] (2010). «Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: Meta-analysis of species richness in Europe». *Conservation Biology*, 24: 101-112.
- PANGGA, I.B.; CHAKRABORTY, S.; YATES, D. (2004). «Canopy size and induced resistance in *Stylosanthes scabra* determine anthracnose severity at high CO₂». *Phytopathology*, 94, p. 221-227.
- PEET, M.M.; WOLFE, D.W. (2000). «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Vegetable Crops». A: REDDY, K.R.; HODGES, H.F. (2000). *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon (UK): CABI Publishing.
- PEÑUELAS, J. (2010). Ecosistemes terrestres. A: LLEBOT, J.E. [ed] (2010). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: CADS i Institut d'Estudis Catalans.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. (2001). «Phenology: Responses to a warming world». *Science*, 294, p. 793-795.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; COMAS (2002). «Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region». *Global Change Biology*, 8, p. 531-544.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. (2002). «A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)». *Global Change Biology*, 9, p. 131-140.
- PEÑUELAS, J.; SABATÉ, S.; FILELLA, I.; GRACIA, C. (2004). «Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación». A: VALLADARES F (ed), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente.
- PETERS, R.D.; PLATT, H.W.; HALL, R. (1999). «Hypotheses for the inter-regional movement of new genotypes of *Phytophthora infestans* in Canada». *Canadian Journal of Plant Pathology*, 21, p.132-136.
- PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. (2003). «Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment». *American Journal of Clinical Nutrition*, 78 (Suppl.), p. 660S-663S.
- PIQUÉ, M. 2004. «La gestió forestal com a eina per a la prevenció dels grans incendis forestals». A: PLANA, E. (ed.). *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Xarxa ALINFO XCT2001-00061. Solsona.
- PINO, J.; FONT, X.; CARBÓ, J. [et al.] (2005). «Large-scale correlates of alien plant invasion in Catalonia (NE of Spain)». *Biological Conservation*, 122, p. 339-350.
- PIÑOL, J.J.; TERRADAS, J.; LLORET, F. (1998). «Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain». *Climatic Change*, 38, p. 345-357.
- PIQUÉ, M.; VERICAT, P. 2007. «Elaboració d'orientacions de gestió (ORGEST) per als boscos catalans: les tipologies forestals com a eina». A: *Llibre de ponències i resums, 2on Congrés Forestal Català*. p. 52.
- PLAIXATS, J. (1996). «Dinàmica de la cubierta vegetal». *Ovis*, 43, p. 27-39.
- (2008). «L'aire i l'agricultura». A: *L'aire i el medi*. Col·lecció Publicacions de la Presidència. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. p. 289-312.
- PLANA, E., 2004. Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc. Xarxa ALINFO XCT2001-00061. Solsona. p. 144
- PORTA, J.; ALCANIZ, J.M.; CASTELLS, E. [et al.] (1987). *Introducció al Coneixement del Sòl. Sòls dels Països Catalans*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- PORTER, J.H.; PARRY, M.L.; CARTER, T.R. (1991). «The potential effects of climatic change on agricultural insect pests». *Agricultural and Forest Meteorology*, 57, p. 221-240.
- RABBINGE, R.; VAN DIEPEN, C.A. (2000). «Changes in agriculture and land use in Europe. *European Journal of Agronomy*», núm 13, p. 85-99.
- RADDI, A. (1998). *El mercat dels productes forestals a Catalunya*. Barcelona: Diputació de Barcelona.
- REDDY, K.R.; HODGES, H.F. (2000). «Climate Change and Global Crop Productivity: an Overview». A: REDDY, K.R.; HODGES, H.F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon (UK): CABI Publishing.
- REGATO, P. 2008. «Adapting to global change. *Mediterranean forests*». IUCN, Gland, Switzerland and Malaga, Spain
- REGUANT, F. (2009). «El medi ambient com a estratègia. Apropament des de l'agricultura». *Jornada dels Economistes* 2009.

- RENAUDEAU, D. (2005). «Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs». *Animal Research*, 54, p. 81-93.
- RESCO, V.; COLINAS, C.; FISCHER, C. (2007). «Climate change effects on Mediterranean forests and preventive measures». *New Forests*, 33, p. 29-40.
- RISKU-NORJA, H.; MÄENPÄÄ, I. (2007). «MFA model to assess economic and environmental consequences of food production and consumption». *Ecological Economics*, 4, p. 700-711.
- ROCA, M. (2009). *Avaluació del comportament d'híbrids de panis en diferents àmbits climàtics*. Lleida: Universitat de Lleida. (Treball pràctic tutorat).
- ROUNSEVELL, M.D.A.; EWERT, F.; REGINSTER, M. [et al.] (2005). «Future scenarios of European agricultural land use II. Stimating changes in land use and regional allocation». *Agriculture ecosystems and environment*, 107, p. 117-135.
- SAGGAR, S. (2010). «Estimation of Nitrous Oxide Emission from Ecosystems and its Mitigation Technologies Preface». *Agriculture Ecosystems and Environment*, 136 (3-4), p. 189-191.
- SAVÉ, R.; SABATÉ S.; DE HERRALDE, F. [et al.] (2009). «Could be the root system of cultured plants an important carbon sink under global change conditions? Proceedings». *8th International carbon dioxide conference*. Jena, Germany.
- SCHERM, H.; VAN BRUGGEN, N. (1994). «Global warming and nonlinear growth: how important are changes in average temperature?». *Phytopathology*, 84, p. 1380-1384.
- SEBASTIÀ M.T. (2007). «Plant guilds drive biomass response to global warming and water availability in subalpine grassland». *Journal of Applied Ecology*, 44, 158-167.
- SEBASTIÀ, M.T.; CASALS, P.; VOJNICOVIC, S. [et al.] (2005). «Plant diversity and soil properties in pristine and managed stands from Bosnian mixed forests». *Forestry*, 78, p. 297-303.
- SEBASTIÀ, M.T.; DE BELLO, F.; PUIG, L.; TAULL, M. (2008a). «Grazing as a factor structuring grasslands in the Pyrenees». *Applied Vegetation Science*, 11, p. 215-222.
- SEBASTIÀ, M.T.; KIRWAN, L.; CONNOLLY, J. (2008b). «Strong shifts in plant diversity and vegetation composition in grassland shortly after climatic change». *Journal of Vegetation Science*, 19, p. 299-306.
- SEBASTIÀ, M.T.; MOLA, B.; ARENAS, J.M.; CASALS, P. (2004). «Biomass responses of subalpine grasslands in the Pyrenees under warming conditions». *Grassland Systems in Europe*, 9, p. 290-292.
- SHAVER, G.R.; CANADELL, J.; CHAPIN III, F.S. [et al.] (2000). «Global warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis». *Bioscience*, 10, p. 871-882.
- SCHRÖDER, P. (1994). «Carbon storage benefits of agroforestry systems». *Agroforestry Systems*, 27, p. 89-97.
- SILANIKOVE, N. (2000). «Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants». *Livestock Production Science*, 67, p. 1-18.
- SISQUELLA, M.; SANTIVERI, P.; LLOVERAS, J. 2009. «Recomanacions tècniques per a una bona gestió de l'explotació agrària: panis i alfals». *Guies per l'asesorament*. Departament d'Agricultura i Acció Rural. Generalitat de Catalunya.
- SMIT, B.; MC NABB, D.; SMITHERS, J. (1996). «Agricultural adaptation to climatic variation». *Climatic change*, 33, p. 7-29.
- SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z. [et al.] (2007). «Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, p. 6-28.
- SOFI, F.; CESARI, F.; ABBATE, R. [et al.] (2008). Adherence to Mediterranean diet and health status: meta-analysis. *BMJ* 337, p. a1344.
- SOMBROEK, W.G.; GOMMES, R. (1997). «L'énigme: changement de climat-agriculture». A: BAZZAZ, F.A.; SOMBROEK, W.G. (eds). *Changements du climat et production agricole*. Rome, Paris: FAO, Polytechnica.
- SOUSSANA, J.F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. (2010). «Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands». *Animal*, 4, p. 334-350.
- SUÁREZ, F.; SAINZ, H.; SANTOS, T.; GONZÁLEZ, F. (1992). *Las estepas ibéricas*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
- STEHFEST, E.; BOUWMAN, L.; VAN VUUREN, D.P. [et al.]. «Climate benefits of changing diet». *Climate Change*, 95, p. 85-102.
- STOATE, C.; BALDI, A.; BEJA, P. [et al.] (2009). «Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe». *A review Journal Environmental Management*, 91, p. 22-46.
- STOT, P. (2009). «Detection and Attribution of Anthropogenic Climate Change in the Atmosphere from

- a Global Perspective». A: STOCKER, T. FIELD, C. DAHE, Q. [et al.] *IPCC Expert Meeting on Detection and Attribution Related to Anthropogenic Climate Change*, p. 45-47.
- TEIRA, M.R. (2008). *Informe per a la millora de la gestió dels purins porcins a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya Departament de la Vicepresidència. (Informes del CADS, 5).
- TERRADAS, J. (ed). (1996). *Ecología del foc*. Barcelona: Proa.
- (2001). *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Barcelona: Ediciones Omega.
- THUILLER, W.; RICHARDSON, D.M.; PYSÉK, P. [et al.] (2005a). «Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale». *Global Change Biology*, 11, p. 2234-2250.
- THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M.B. (2005b). «Niche properties and geographic extent as predictors of species sensitivity to climate change». *Global Ecology and Biogeography*, 14, p. 347-357.
- VALLEJO, V.R. [ed]. (1997). *La restauración de la cubierta vegetal en la comunidad Valenciana*. València: Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM).
- VALTORTA, S.E.; MACIEL, M. (1998). «Respuesta reproductiva». A: *Producción de leche en verano*. Centro de publicaciones de la Secretaría de Extensión de la Universidad Litoral, Santa Fe, Argentina. p. 64-76.
- VERICAT, P.; COLL, L.; DOMÍNGUEZ, G.; PIQUÉ, M. (2009). «Silvicultura i canvi climàtic». Ponència presentada al seminari «El canvi climàtic i l'activitat agrària». Reus, 27 i 28 d'octubre de 2008. Centre de Formació i Estudis Agrorurals. Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural. Generalitat de Catalunya. (Inèdit).
- VILÀ, M.; PUJADAS J. (2001). «Land-use and socio-economic correlates of plant invasions in European and North African countries». *Biological Conservation*, 100, p. 397-401.
- VITOUSEK, P.M. (1994). «Beyond Global Warming: Ecology and Global Change». *Ecology*, Vol. 75, 7, p. 1861-1876.
- VUORINEN, T.; NERG, A.M.; IBRAHIM, M.A. [et al.] (2004). «Emission of *Plutella xylostella*-induced compounds from cabbages grown at elevated CO₂ and orientation behavior of the natural enemies». *Plant Physiology*, 135, p. 1-9.
- WALTHER, G.R.; ROQUES A.; HULME, P. [et al.] (2009). «Alien species in a warmer world: risks and opportunities». *Trends in Ecology and Evolution*, 24, p. 686-693.
- WESLIEN, P.; KLEMETTSSON, L.; SVENSSON, L. [et al.] (1998). «Nitrogen losses following application of pig slurry to arable land». *Soil Use Manage.*, 14 (4), p. 200-208.
- WEST, T.O.; MARLAND, G. (2002). «Net Carbon Flux from Agricultural Ecosystems: Methodology for Full Carbon Cycle Analyses». *Environmental Pollution*, 116 (3), p. 439-444.
- ZAVALA, J.A.; CASTEEL, C. L.; DELUCIA, E.H.; BERENBAUM, M.R. (2008). «Anthropogenic increase in carbon dioxide compromises plant defense against invasive insects». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, p. 5129-5133.
- ZISKA, L.H.; BUNCE, J.A. (2007). «Predicting the impact of changing CO₂ on crop yields: some thoughts on food». *New Phytologist*, 175, p. 607-617.
- ZHOU, X.; TALLEY, M.; LUO, Y. (2009). «Biomass, Litter, and Soil Respiration Along a Precipitation Gradient in Southern Great Plains, USA». *Ecosystems*, 12, (8), p. 1369-1380.

ANNEX. Problemàtica dels principals sistemes agraris catalans en condicions de canvi climàtic

A continuació es descriuen els principals sistemes agrícoles i forestals rellevants a Catalunya, i es proporciona una visió integrada de la seva problemàtica enfront del canvi climàtic.

A.1. Cereals

La situació dels cereals a Catalunya enfront del canvi climàtic pot ser molt diferent segons es considerin zones de regadiu o zones de secà. En general a Catalunya les zones de regadiu es nodreixen de l'aigua d'embassaments. Si disminueix la quantitat de precipitació a les zones de muntanya, i en particular la quantitat de neu que s'acumula a l'hivern a les parts més elevades, les zones de reg poden veure's amenaçades l'estiu següent. Però si s'assegura la disponibilitat de l'aigua per al reg, la productivitat d'aquestes zones probablement no ha de veure's minvada. Un altre aspecte és el relatiu a la pujada de les temperatures: els seus efectes poden ser molt diferents en funció del cultiu i de la manera com es produeixi l'increment de la temperatura.

L'augment de la temperatura s'ha estimat que redueix la durada del cicle dels conreus de

cereals (Deudron, 2001), i si aquesta pujada es produeix a l'hivern, pot implicar una manca de vernalització en varietats de blat i ordi amb aquests requeriments (Guereña *et al.*, 2001), i poden disminuir-ne molt els rendiments. Uns tipus de conreu de secà que podrien presentar problemes amb l'escalfament i l'aridització del clima serien els cereals de secà, com la civada, el blat o l'ordi. El blat proporciona aproximadament el 20% de l'energia i el 25% de les necessitats proteiques de la població humana mundial (Lawlor i Mitchel, 2000). Les recomanacions generals són assegurar una inversió en producció d'aquest conreu per cobrir les demandes d'una població en augment i contrarestar els possibles efectes del canvi climàtic (Lawlor i Mitchell, 2000). El blat és un dels cultius que mostra una resposta més gran a l'augment de CO₂, en presència de nutrients i d'aigua, i s'ha predit un augment en la producció de blat sota aquestes condicions no limitants d'entre el 7 i l'11% (Lawlor i Mitchell, 2000; taula 9). En canvi, l'increment de CO₂ pot reduir en part els efectes negatius de la sequera (Lawlor i Mitchell, 2000) i portar a

	Respostes biològiques	Vulnerabilitat regional	Solucions tecnològiques	Condicionaments socioeconòmics	Oportunitats
Cereals	Resposta positiva al CO ₂ en plantes C ₃ . Resposta probablement negativa a la temperatura en plantes C ₃ . Eскурçament del cicle.	Zones de secà meridionals molt vulnerables. Possibilitats d'incrementar la superfície a les zones més septentrionals en algun conreu.	Disponibilitat de varietats resistentes a la sequera. Canvi de dates de sembra. Canvi a varietats de cicle curt.	Reducció o desaparició en alguns llocs dels cereals de secà actuals.	En alguns indrets, increment del panís o del sorgo
Hortalisses	Respostes variades al CO ₂ . Efectes més aviat negatius a l'augment de la temperatura. Elevada sensibilitat a l'estrès hídric.	Augment de la necessitat d'aigua de reg. Increment de plagues.	Grans possibilitats de resposta amb canvis varietals, de tipus de conreu, de tècniques de cultiu, etc. Estratègies per augmentar l'eficiència en l'ús de l'aigua: encoixinats del sòl, tallavents, gota a gota, etc.	Vulnerabilitat dels petits productors amb capacitat de resposta limitada per adaptar-se als canvis tècnics necessaris. Pèrdua de superfície de conreu per increment de zones urbanes.	Cultiu de varietats precoces.

Taula 9. (Continua).

	Respostes biològiques	Vulnerabilitat regional	Solucions tecnològiques	Condicionaments socioeconòmics	Oportunitats
Cultius en hivernacle		Augment de la necessitat d'aigua de reg. Increment de plagues.	Estratègies per augmentar l'eficiència en l'ús de l'aigua: encoixinats del sòl, tallavents, gota a gota, etc.	Pèrdua de superfície de conreu per increment de zones urbanes.	Reducció despeses de calefacció i combustibles fòssils. En canvi, increment de despesa per a refrigeració estival. Cultius d'origen més càlid, horticòles o ornamentals.
Cultius llenyosos	Necessitat determinada d'hores-fred per floració alta i regular i qualitat adequat. Pèrdua de qualitat de fruita amb temperatura alta.	A zones fredes, augment de risc de pèrdues per avançament de floració seguit de gelades. Més demanda de reg.	Canvis varietals i fins i tot d'espècies. Augment de l'eficiència de l'ús de l'aigua.		Introducció de cultius sensibles a gelades com el nesprer. Introducció de varietats més primerenques de preu de venda més alt. Introducció i ampliació de la superfície de cítrics.
Farratges	Resposta positiva al CO ₂ en lleguminoses i d'altres. Augment de la durada del cicle productiu de l'alfals. Efectes més aviat negatius a l'augment de la temperatura als estius.	En zones fredes vulnerables segons disponibilitat d'aigua.	Introducció de barreges. Canvis varietals i d'espècies.		Increment del nombre de dalls en zones de regadiu. Allargament de l'estació de creixement.
Prats de muntanya	Pèrdua de biodiversitat. Canvis d'espècies amb possible disminució de les plantes de més qualitat. Ràpida mineralització inicial amb risc de pèrdua posterior de fertilitat al sòl.	Molt vulnerables a tota la zona de distribució. Possibilitats de moviments altitudinals fins on sigui possible; altrament, extinció. Sistemes alpins especialment vulnerables.	Difícils pel que fa al canvi climàtic. Desbrossament i cremes controlades per mantenir les superfícies de pastura. Ajuts a la ramaderia extensiva.	Fortes interaccions amb canvis en l'ús del sòl per abandonament. Ajuts a sistemes extensius de la UE.	Increment inicial de la productivitat.
Pastures mediterrànies	Possiblement efectes més aviat negatius a l'augment de la temperatura	Capacitat de desplaçament de les espècies en altitud.	Desbrossament i cremes controlades per mantenir les superfícies de pastura. Ajuts a ramaderia extensiva.	Urbanització i infraestructures dificulten llur desplaçament. Pèrdua de superfície per abandonament de pastures.	Augment de la superfície per abandonament de conreus.

Taula 9. Comparació de les possibles respostes dels diferents tipus de conreu i pastures enfront del canvi climàtic.

l'augment del rendiment dels cereals d'hivern de tota Europa (Deudron, 2001).

En l'actualitat, els cereals de secà són molt importants en zones de Catalunya amb menys pluviometria, com la Segarra, de manera que la disminució de la precipitació en aquestes zones i l'augment de les temperatures podrien portar els cereals d'hivern a una situació crítica. En canvi, el seu cultiu es podria mantenir i estendre en àrees de secà més humit, com ara el Berguedà i altres comarques de muntanya (taula 9). Les comarques més frescals i més muntanyenques de la part nord del nostre territori podrien patir importants canvis amb un augment de l'aridesa. En l'actualitat aquestes zones poden produir sense reg conreus típics de zones temperades fredes gràcies a unes temperatures frescals i una precipitació prou elevada. Un escalfament comportaria probablement la necessitat d'introduir sistemes de reg per tal de mantenir els cultius actuals en determinades zones, o un canvi cap a conreus de secà més càlid. L'augment de CO₂ pot fer disminuir les necessitats de reg dels cereals en les zones de regadiu (Guereña *et al.*, 2001).

A.2. Conreus hortícoles i en hivernacle

A diferència dels altres grups de conreus, es cultiva una gran diversitat d'hortalisses, amb moltes espècies diferents i un espectre ampli de cultius, conreades per òrgans també molt diversos, i d'origens climàtics molt variables. A més, aquestes hortalisses es cultiven en una gran varietat de sistemes de producció: des d'un cultiu semiextensiu de ceba a les comarques de Lleida fins un cultiu en hivernacle amb els últims avenços tecnològics al litoral català (Maresme, Baix Llobregat i litoral tarragoní). Aquesta gran diversitat de cultius i de sistemes productius hauria de conferir a l'horticultura una major capacitat de resposta enfront dels canvis climàtics. De fet, en horticultura s'utilitzen tècniques de modificació climàtica per produir cultius específics. El major preu de mercat dels productes hortícoles en comparació amb altres conreus permet implementar tecnologies de control dels sistemes productius de més impacte que als altres sistemes de cultius.

Des del punt de vista productiu l'augment de la temperatura ambiental comportarà efectes

molt diferents depenent del cultiu de què es tracti. En general, l'augment tèrmic tindrà efectes sobre els cicles de cultiu, escurçant-los. Això pot donar lloc a alguns avantatges econòmics al permetre produccions més primerenques amb un valor en el mercat més elevat. Per poder seguir cultivant hortalisses caldrà una adaptació dels cultius i de les varietats a les diferents zones climàtiques, sobretot des del punt de vista dels cultivars, i en alguns casos també de les espècies conreades. Una solució seria desplaçar el cultiu a una zona climàtica diferent o de major altitud. Però si es volgués seguir conreant les mateixes cultivars en la mateixa zona climàtica afectada per un increment tèrmic considerable, comportaria probablement, en la majoria dels casos, una lleugera baixada de producció, en escurçar-se el cicle, però possiblement una disminució de la qualitat dels productes hortícoles (taula 9). Són coneguts els efectes negatius que tenen les altes temperatures sobre la qualitat de moltes verdures. L'espinaç i la col-i-flor no resisteixen temperatures gaire altes (Llebot, 1997), igual que els enciams i la majoria de cultius radiculars, com la pastanaga (Peet i Wolfe, 2000). Segons dades de Wien, recopilades a Peet i Wolfe (2000), als espàrrecs i les mongetes es produeix un augment de la fibrositat; a la col i els enciams es produeix la necrosi de les parts apicals, particularment si a més es produeix sequera; a les pastanagues es redueix el contingut en carotens, etc. Per als productors de verdures fresques fins i tot petites faltes poden fer els seus productes invendibles, a menys que s'eduqui els consumidors. Sens dubte les conseqüències seran més importants per als petits productors, per als quals les condicions es faran més difícils ja que tenen menys capacitat de sobreviure a rebutjos temporals del mercat i d'adaptar-se i canviar a un cultiu diferent que requereix una tecnologia nova (Peet i Wolfe, 2000). Però el canvi climàtic obre les portes a altres oportunitats en matèria d'hortícoles, seguint els exemples d'Almeria i Múrcia.

Els cultius d'estació freda probablement es podran seguir conreant a les zones interiors de Catalunya però se'n podrà avançar l'inici del cultiu. Aquests cultius, que molt sovint tenen necessitats de vernalització (ex: col-i-flor, bròquil), s'hauran d'adaptar, utilitzant les cultivars ade-

quades, si es volen seguir conreant al litoral. Ara bé, per a alguns cultius, per als quals la vernalització representa una pèrdua de valor comercial en induir una floració precoçment (ex: api, pastanaga i cols), l'increment tèrmic seria beneficiós. En zones interiors de Catalunya es podran plantejar cultius que actualment són difícils de portar a terme per no suportar tardors i hiverns massa freds, i èpoques llargues amb risc de glaçades. Alguns cultius, com la patata, baixarien clarament la seva productivitat al ser inhibida la tuberització al incrementar-se les temperatures.

En zones interiors l'estiu podrà esdevenir més càlid del que és actualment. Això comportarà una preferència pels cultius d'estació càlida més resistents a altes temperatures; probablement s'hi puguin introduir nous cultius de zones climàtiques més càlides. A la zona del litoral, on la presència del mar amortirà una mica més l'efecte d'increment tèrmic, es podran avançar encara més les dates de plantació i es podran portar a terme produccions més primerenques, amb el conseqüent augment del seu valor de mercat (taula 9). En els casos en què el cultiu s'ha de fer necessàriament a l'hivernacle se'n podrà plantejar el cultiu amb sistemes de semiforçat menys sofisticats o, fins i tot, depenent de la magnitud del canvi tèrmic, a l'aire lliure, amb una reducció dels costos de producció. A l'hivern es preveu en els hivernacles una menor despesa en sistemes de calefacció i combustibles fòssils. En canvi, a l'estiu probablement l'excés de temperatura, que ja és limitant actualment, esdevindrà crític per a la producció, si no és que s'implementen sistemes de refrigeració eficients, que probablement comportaran una major despesa energètica. En aquestes circumstàncies es podran plantar cultius d'origens climàtics més càlids, ja sigui horticòles o ornamentals (ex: espècies CAM: cactàcies... etc.), que actualment són més difícils de portar a bon termini (taula 9). En els cultius d'estació càlida (majoria de cultius de fruit) l'increment tèrmic podria comportar una millora de la qualitat. En horticultura protegida és habitual, a la primavera i a l'estiu, combatre l'excés de temperatura, ja sigui al sòl o a l'aire mitjançant tècniques diverses (ex: ombreig dels cultius, utilització d'encoixinats reflectants en el sòl, gestió de la ventilació i utilització de sistemes de refrigera-

ció, etc.). En canvi, un efecte negatiu de l'increment tèrmic serà probablement l'augment de plagues en els conreus horticòles, especialment a la primavera i a l'estiu. S'hauran d'implementar, doncs, nous sistemes d'escapament i de control d'aquestes plagues.

Tots els factors positius que s'acaben de citar, relacionats amb un increment tèrmic, estan subjectes a la disponibilitat d'una aportació hídrica no limitant per als cultius. Per tant, és molt important dur a terme un millor aprofitament de l'aigua. Un augment tèrmic comportaria un increment de la transpiració del cultiu i de l'evaporació d'aigua del sòl. Aquest fet implicaria incrementar l'aportació hídrica a aquests cultius. Això no obstant, cal considerar que els cultius horticòles són bastant més sensibles a l'estress hídric que altres grups de cultius. La majoria d'espècies horticòles no són tolerants a la sequera, o ho són molt poc (McKersie i Leshem, 1994). No és casualitat que dues zones típicament horticòles a Catalunya siguin les zones humides del delta de l'Ebre i del delta del Llobregat. Moltes de les estratègies dels cultius per afrontar una situació de sequera comporten la disminució de l'àrea foliar, i això en termes productius significa una disminució de la productivitat potencial.

Des del punt de vista de l'ús de l'aigua, el canvi climàtic podria ser molt perjudicial. Si el canvi tèrmic va acompanyat pel desplaçament dels cultius a zones tèrmiques similars a les actuals, i en aquestes es manté el règim hídric, no caldria un increment de l'aportació hídrica. Els sistemes horticòles disposen de dues estratègies per combatre la sequera: augmentar l'eficiència dels cultius en l'ús de l'aigua i reduir el consum d'aigua globalment (ex: encoixinats del sòl, tallavents, hivernacles, sistemes de reg gota a gota, control de les necessitats hídriques utilitzant sensors, etc.). D'altra banda, les millors zones horticòles es troben sovint a prop dels nuclis urbans, i això fa que pugui haver-hi una forta competència pels recursos hídrics (entre altres recursos) entre l'horticultura i altres sectors (domèstic, industrial i turístic). En aquest sentit, si es vol augmentar l'eficiència en la utilització de l'aigua, sembla important estudiar la viabilitat de l'ús d'aigües residuals de les grans ciutats, tractades per poder ser utilitzades com aigua de reg pels

cultius hortícoles periurbans. S'haurien d'afavorir, doncs, sistemes de recuperació de l'aigua i de captació d'aigua de pluja. També s'haurien d'afavorir sistemes mixtos que incloguessin la producció d'hortícoles en hivernacle amb la producció de biogàs, com s'està fent amb èxit a la Xina i en altres països.

Com ja s'ha comentat, dues de les zones típicament hortícoles a Catalunya són les àrees humides del delta de l'Ebre i del delta del Llobregat. A més del tema del canvi climàtic, aquest darrer és representatiu d'una altra amenaça per a l'agricultura relacionada amb el canvi en l'ús del sòl: la urbanització. Les millors zones hortícoles es troben sovint a prop de nuclis urbans importants (en el cas del delta del Llobregat, la ciutat de Barcelona). El creixement de la ciutat i la millora de les seves infraestructures de comunicació se solen fer en detriment de les millors terres agrícoles. Una situació similar es produiria al Maresme i al Camp de Tarragona.

Com a exemple d'interacció entre tots aquests factors del canvi climàtic i la generació de possibles estratègies de resposta es poden analitzar els resultats obtinguts en diversos experiments i models sobre la patata, incloent-hi el model NPO-TATO desenvolupat en un experiment finançat per la Comunitat Europea. El cultiu de la patata és molt sensible a les elevades temperatures, ja que la tuberització es veu inhibida per les temperatures altes i es fa molt irregular en condicions d'estrès hídric. També la formació de grills a la patata es veu estimulada quan les temperatures són altes. Tanmateix, la resposta a les altes temperatures presenta una elevada variabilitat genètica: les varietats primerenques són menys vulnerables a l'escalfament (Peet i Wolfe, 2000). S'ha vist que l'augment de CO₂ atmosfèric podria incrementar la producció de la patata fins a gairebé un 30%, però les altes temperatures reduirien aquest efecte. Al sud d'Europa, la variabilitat en la producció de la patata augmentaria en diversos escenaris de canvi climàtic i sense irrigació. La pròpia productivitat de la patata podria variar entre petits augments en zones no irrigades fins a petits decrements en zones irrigades, segons els diferents escenaris climàtics (Miglietta *et al.*, 2000). Tanmateix, dos factors podrien fer variar aquesta situació, el tipus de varietat i la

data de plantació (Miglietta *et al.*, 2000). Les varietats més primerenques tenen un canvi en la producció més positiu, o un descens menys negatiu, sota condicions de canvi climàtic, amb i sense irrigació, ja que s'evita el període més calent de l'estiu (Miglietta *et al.*, 2000). També una plantació més primerenca té un efecte positiu sobre la producció en aquestes condicions. En els experiments esmentats, tant la utilització de varietats primerenques de patata com l'avançament en l'època de plantació van reduir considerablement els requeriments d'irrigació (Miglietta *et al.*, 2000).

A.3. Cultius llenyosos

Alguns dels cultius llenyosos que tenen més importància a Catalunya, com la pomera, la perera, el cirerer i el préssec, necessiten un nombre determinat d'hores-fred. La manca d'un nombre suficient d'hores-fred condueix a una floració més baixa, irregular, estesa en el temps i amb un quallat menor i, per tant, a una probable reducció en la producció (taula 9). Si la reducció d'hores-fred és prou elevada, algunes varietats de poma i pera cultivades a l'actualitat poden ser inviables. En canvi, en alguns cultius com el préssec, un canvi varietal pot solucionar la manca d'hores de fred.

L'augment de les temperatures a l'hivern i a la primavera pot produir un avançament de les dates de floració que poden augmentar el risc de gelades si no va acompanyat per un increment de les temperatures mínimes en aquest període de temps (Cannell i Smith, 1986). Si l'increment de les temperatures mínimes a l'hivern ve acompanyat d'una reducció del risc de gelades seria possible la introducció de nous cultius llenyosos en zones com la plana de Lleida. Per exemple, el cultiu del nesprer o la introducció de noves varietats d'albercoquers o de préssecs que necessiten menys hores-fred per tal de desenvolupar llurs fruits. Són varietats més primerenques, en algun cas de qualitat i producció més baixes però de preu de venda més alt. Una altra oportunitat que arribaria amb un descens del risc de gelades és l'ampliació de les zones de cultius de cítrics. En el cas de la taronja, la producció de la qual a Catalunya se centra en la zona de Tortosa, es tracta d'una producció de qualitat, però que

presenta el risc de la seva sensibilitat a les gelades, i alguns anys això en fa davallar la producció. L'augment de les temperatures i la disminució del risc de gelada, si es pot assegurar la disponibilitat d'aigua, permetria la consecució d'una collita més regular i la possibilitat d'estendre el seu conreu, el qual en els darrers 20 anys ha vist augmentada llur superfície en generar-se bones perspectives comercials. A més de les taronges, la disminució del risc de gelades també permetria la introducció a Catalunya d'altres cítrics molt més sensibles al fred, com la mandarina i el llimoner, i d'altres espècies de fruiters més sensibles al fred que les actuals.

L'increment de temperatures a l'estiu, i especialment abans de la recol·lecció, pot produir una davallada important de la qualitat de la fruita, per exemple per pèrdua de color en el cas de pomes roges o bicolors o per augment del denominat cop de sol. L'allargament del període de creixement (Peñuelas *et al.*, 2002) a l'hivern o a la primavera pot permetre un avançament de la collita, i en el cas d'alguns cultius probablement també l'increment dels períodes anuals de recol·lecció (Reilly, 1997). Ara bé, també pot augmentar el risc de pèrdues de la producció si l'avançament de la floració implica una superposició més àmplia amb el període de risc de gelades. L'augment en la variabilitat del clima predita dins dels canvis climàtics pot fer augmentar el risc de pèrdues. En el cas de conreus llenyosos, mentre temperatures molt baixes a començaments de la primavera afecten la flor, fortes glaçades a l'hivern perjudiquen l'arbre en diverses espècies. La gran quantitat de pèrdues produïdes amb les fortes glaçades (amb temperatures de -20 °C a l'hivern del 2002) es tradueix, en zones com Les Garrigues, en una elevada mortalitat de les oliveres i la necessitat de replantar molts arbres. En aquesta zona, en l'actualitat amb un risc real de gelades fortes amb una periodicitat de potser al menys cada 20 anys, la reducció del risc de gelades hivernals portaria a la presència d'oliveres més velles, amb una reducció del risc de pèrdues de collita i una necessitat més baixa de reposició.

Un factor fortament limitant en zones de secà seria la manca d'aigua. En els terrenys de secà o amb regs deficitaris, la reducció de pluges, l'aug-

ment de la seva irregularitat, i l'augment de les temperatures a l'estiu, incrementaria l'estress hídric, i reduiria la producció en cultius com l'olivera, l'ametller o l'avellaner. El conreu de la vinya (bàsicament en secà) també veuria reduït el seu potencial productiu per la reducció de la pluviositat. L'augment de temperatures, però, podria incidir positivament en la qualitat. És difícil avaluar com el canvi climàtic afectaria la qualitat del vi, atès que s'hauria d'avaluar el microclima de cada zona en particular (humitat, pluges, règim de temperatures...). S'ha trobat una forta dependència entre la qualitat vitícola i el clima, i la gran qualitat del vi als darrers 30 anys s'ha relacionat amb fenòmens d'El Niño (Rodó i Comín, 2000). Un avantatge seria la disminució del risc de gelades que afecten algunes zones productores, però aquest efecte queda supeditat a la variació de l'època de brotada (com ja s'ha esmentat anteriorment).

A.4. Farratges

Cultius de farratges com l'alfals, el raigràs, o la trepadella, a la part nord de les comarques catalanes, es nodreixen principalment de l'aigua de les pluges a la part nord de les comarques interiors catalanes, com l'Alt Berguedà, l'Alt Urgell, el Solsonès, etc., mentre que a comarques més meridionals com Osona, el Segrià i el Pla d'Urgell, els cal el reg. La forta sequera patida a l'estiu del 2003 va disminuir el nombre de dalls obtinguts de les farratgeres a les zones de muntanya en comarques tan variades com el Berguedà i l'Alta Ribagorça, entre d'altres. Mentre el darrer dall es va perdre per a fenc o ensitjat, els ramaders el van donar al bestiar per a pastura. De manera habitual, els cicles anuals dall-pastura pateixen força variacions segons la climatologia concreta de cada any, com és d'esperar en zones amb influència mediterrània no regades. Anys particularment humits i frescs permeten 2-3 aprofitaments mitjançant dall i un cicle de pastura a l'hivern o la primavera. Ara bé, anys més secs només permeten 1-2 aprofitaments per dall en zones sense reg. Un augment en la freqüència dels anys secs reduiria la rendibilitat general de l'explotació i portaria a la cerca d'alternatives que permetessin el seu manteniment, com ara és la introducció del reg en els casos en què fos viable,

o directament a l'abandonament de les explotacions, què és un perill ben present a les zones de muntanya. D'altra banda, l'augment del CO₂ a l'atmosfera podria pal·liar en part els efectes negatius de la sequera, augmentant-ne la tolerància de les plantes, com s'ha vist per a l'alfals (De Luis, 2000).

Si s'aconsegueix una bona disponibilitat hídrica, les zones més fredes de Catalunya podrien augmentar llur productivitat global gràcies als efectes estimuladors de les temperatures més altes (taula 9). La productivitat a les zones fredes sembla estar limitada principalment per les baixes temperatures. Ara bé, una davallada en les precipitacions en les zones de muntanya pirinenques (Calbó *et al.*, 2010) amenaça un recurs en el que aquestes zones basen gran part de la seva riquesa productiva, que és la disponibilitat d'aigua. Una de les lleguminoses farratgeres d'interès és la trepadella (*Onobrychis viciifolia*), freqüentment cultivada en algunes zones del Prepirineu. Tot i l'elevada qualitat d'aquesta espècie farratgera, els pagesos sovint la releguen a favor de l'alfals, més productiu. Amb tot, aquesta espècie pot ser prometedora en zones de muntanya si les condicions esdevenen més seques i el reg es fa difícil, però s'ha produït la desaparició de moltes varietats, i hi ha molta confusió sobre la identitat de les que queden.

En el cas de l'alfals, en l'actualitat es produeixen dues situacions molt diferenciades. A més de ser conreat en zones climàticament humides i frescals de les nostres muntanyes, l'alfals és molt important a Catalunya en zones càlides amb reg. Un exemple representatiu n'és el cas del Segrià, la Noguera i l'Urgell. Si es manté el subministrament d'aigua, l'increment de temperatures permetria el manteniment de la productivitat i, fins i tot, un forçament del sistema amb l'obtenció del nombre màxim mitjà d'aprofitaments per sobre de l'actual, si bé en cas de temperatures estivals excessivament altes es reduiria la producció dels dalls d'estiu. Aquest forçament, però, podria comportar menys producció en alguns dalls per l'escés de transpiració, i també la necessitat de més fertilitzants, bàsicament fòsfor i potassi, amb un cert augment dels residus i del risc de contaminació de les aigües si l'adobament no està ben posat.

Una situació similar és aplicable al blat de moro. En aquest cas l'augment del cicle de cultiu —i per tant de la seva producció— es pot veure minvat per l'excés de temperatura per sobre dels 30 °C (Roca, 2009). En estius molt calorosos com el del 2000, la producció mitjana de blat de moro per a gra va baixar un 15% (Jaume Llovetras, comunicació personal). La temporada del 2009 l'excés de temperatura a l'estiu va fer que la producció de panís en alguns regadius del sistema Alguerri-Balaguer, per exemple, fos inferior a la dels mateixos híbrids sembrats a la zona de la Seu d'Urgell (Roca, 2009). El blat de moro és un cultiu molt important dins de la Unió Europea; a Catalunya també ho és com a planta farratgera en regadiu. El blat de moro és el tercer cultiu mundial, després del blat i de l'arròs, en termes de font d'energia i proteïna per a la nutrició humana, i també per al bestiar. La proporció total de terres dedicades al cultiu del blat de moro ha augmentat mundialment al voltant d'un 40% als darrers 40 anys (Young i Long, 2000). Cultivada al món sota un ventall ampli de condicions climàtiques, aquesta planta no resisteix bé els climes semiàrids ni els ambients massa freds. És poc clar que l'increment del CO₂ atmosfèric pugui tenir un efecte beneficiós sobre la fotosíntesi d'aquesta planta C₄, però sembla que hi ha avantatges sobre la respiració (Drake *et al.*, 1999). A la Unió Europea, s'han predit impactes sobre el rendiment entre menys un 30% i un canvi a l'alça, variacions que depenen dels possibles escenaris climàtics considerats, els llocs concrets dins d'una mateixa regió, i la percepció en la capacitat d'adaptació de l'agricultor a varietats més adequades a les noves condicions (Reilly, 1995).

A rel de la preocupació sobre la necessitat d'innovar en el conreu de farratges que sense una pèrdua de producció minimitzin els efectes ambientals, es va desenvolupar una acció integrada europea sobre el cultiu de les lleguminoses farratgeres, l'acció COST 852. Un dels objectius d'aquesta acció consistia en trobar la barreja de gramínies i lleguminoses que fes òptim el rendiment i minimitzés els efectes ambientals. Com a resultats del projecte, en un dels camps experimentals, que estava a Catalunya, es trobà que la productivitat augmentava i la resistència a males

herbes disminuïa amb l'augment de diversitat sembrada (Kirwan *et al.*, 2007). Tot i que a l'experiment del Pirineu, dut a terme ens anys molt secs i amb algun hivern molt fred, el primer efecte no es va fer tan palès, el segon (reducció de males herbes) va ser molt fort (Kirwan *et al.*, 2007). Malgrat l'interès reconegut de les barreges, es detecta una certa reticència entre alguns pagesos, de vegades relacionada amb les imposicions del mercat. En aquest aspecte, cal fer una campanya informativa sobre els avantatges de les barreges de farratgeres, que inclouen serveis afegits davant del canvi climàtic probablement en termes de reducció d'emissions i millora del contingut de matèria orgànica al sòl.

A.5. Prats de muntanya

Els prats seminatural de les zones fredes i temperades són ecosistemes de gran valor ecològic, paisatgístic i cultural (Sebastià *et al.*, 2008c, Sebastià i Puig, 2008). Aquests ecosistemes constitueixen un reservori de la biodiversitat, mantingut per les poblacions locals mitjançant una gestió extensiva tradicional que a casa nostra data dels temps prehistòrics. Es tracta d'ecosistemes sostenibles que proporcionen una font d'aliment renovable, natural i econòmic per al bestiar, i al seu entorn s'estructura una gran proporció de les activitats agropecuàries de les zones de muntanya. A Catalunya, aquests prats comparteixen moltes similituds en flora, vegetació i ecologia amb els de les zones fred-temperades de tota Europa (Sebastià *et al.*, 1998, Sebastià, 2004) i es desenvolupen en àrees de precipitació relativament elevada, sovint superior als 1.000 mm, una gran part de la qual es produeix a l'estiu, quan les temperatures són més elevades. Tanmateix, alguns anys mostren el període de sequera estival típica de la Mediterrània, indicant el caràcter transicional d'aquests ecosistemes, que en aquestes àrees es troben en el límit de la distribució climàtica del bioma. Juntament amb la vegetació mediterrània, els prats seminatural constitueixen un dels ecosistemes més amenaçats pel canvi climàtic des del punt de vista de la biodiversitat (Sala *et al.*, 2000). Els canvis en el règim de precipitacions i de temperatura habituals i un augment en la freqüència dels fenòmens climàtics extrems (Houghton *et al.*, 2001) podrien fer

que aquests ecosistemes es tornessin molt vulnerables (Sebastià *et al.*, 2004b, taula 9).

A Catalunya aquests prats es troben distribuïts principalment en zones de muntanya, particularment al Pirineu, però també per altres muntanyes com el Montseny i les d'altres serralades prelitorals catalanes, arribant fins a la terra baixa mediterrània en àrees localment més humides i frescals. Àmplies zones de muntanya de Catalunya com les pirinenques presenten un gran risc de canvis en el règim de precipitacions, a més dels canvis en la temperatura, i podrien veure disminuïda la quantitat d'aigua rebuda anualment (Calbó *et al.*, 2010). Mentre l'aigua es considera el principal factor limitant de la productivitat en els ecosistemes mediterranis, en els ecosistemes freds com els prats seminatural europeus la productivitat sembla estar limitada per la temperatura, i molts experiments han mostrat una estimulació del rendiment amb l'escalfament (Rustad *et al.*, 2001). Aquesta estimulació ha estat en part atribuïda a l'efecte directe de l'augment de la temperatura, ja que la major part dels processos metabòlics es veuen accelerats amb l'escalfament, dins dels límits de funcionament dels sistemes biològics, però també en part a l'increment de la mineralització de la matèria orgànica i la major disponibilitat de nutrients resultant (Epstein *et al.*, 2000; Shaver *et al.*, 2000).

A Catalunya s'han desenvolupat experiments centrats en les conseqüències del canvi climàtic sobre l'estructura, el funcionalisme i l'aprofitament dels prats de muntanya, realitzats des del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (Sebastià *et al.*, 2004b; Sebastià, 2007, Sebastià *et al.*, 2008b). Trasplantades a zones més calentes, mostres de pastures subalpines incrementen llur productivitat i disminueixen el nombre d'espècies (fig. 17). El patró de vulnerabilitat de les espècies mostra que hi ha una davallada no tan sols quantitativa de la biodiversitat, sinó també qualitativa (*sensu* Canals i Sebastià, 2000a; vegeu també de Bello *et al.*, 2007, Sebastià *et al.*, 2008a). Les plantes rares van desaparèixer del sistema, mentre fòrbies de rang altitudinal ample, que es poden trobar des de prop del mar fins a l'alta muntanya, i de qualitat ramadera mediocre o nul·la, van augmentar llur abundància relativa, a expenses sobretot de gramínies típi-

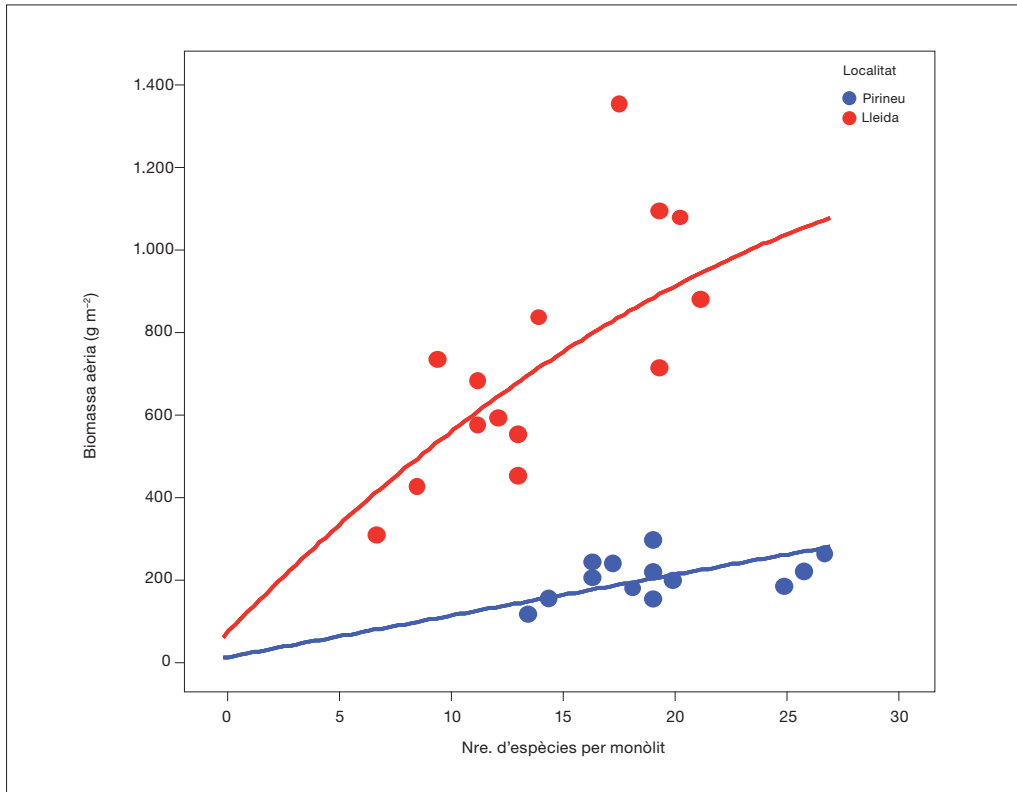


Figura 17. Relació entre productivitat i diversitat en pastures subalpines en llur ambient natural i sotmeses a canvis climàtics. Font: Sebastià et al., 2004.

ques de l'alta muntanya de rangs altitudinals restringits (Sebastià *et al.*, 2004b). Per això, tot i l'augment de biomassa a les mostres sotmeses a escalfament, no es produí un clar augment del valor pastoral d'aquestes (fig. 18).

En un altre experiment de trasplantament de pastures subalpines pirinenques es trobà una resposta positiva a l'addició de fòsfor a les mostres que romangueren a la muntanya, però no a les que van ser trasplantades a altituds més baixes, la qual cosa apunta cap a un augment de la mineralització de la matèria orgànica acumulada al sòl i la mobilització del reservori de nutrients sota condicions d'escalfament (Sebastià *et al.*, 2004b; Sebastià, 2007), la qual cosa podria ser responsable de l'augment de la productivitat a curt termini. Més difícil resulta preveure'n les conseqüències a llarg termini, i calen més estudis, però les tendències observades permeten preveure la pèrdua d'una part important de la

biodiversitat de les pastures, sobretot de les espècies més típiques i específiques d'aquests ecosistemes, amb un augment de la dominància d'espècies de distribució àmplia i una disminució de la qualitat de les pastures. D'altra banda, l'augment de la productivitat observat podria ser transitori, i produir-se l'efecte contrari un cop consumits els nutrients mobilitzats (taula 9). Canvis en la disponibilitat de nutrients com a conseqüència de perturbacions locals poden determinar canvis importants en la composició florística, fins i tot a nivell local (Canals i Sebastià, 2000b; Canals *et al.*, 2003).

A les zones de muntanya el cicle agro-pastoral es tanca amb els prats de dall i el conreu de plantes farratgeres, en monocultiu o cultivades en barreges. Els prats de dall comparteixen moltes de les característiques dels prats seminaturals, tot i que acostumen a estar més artificialitzats i s'hi introdueixen més entrades externes d'adobs,

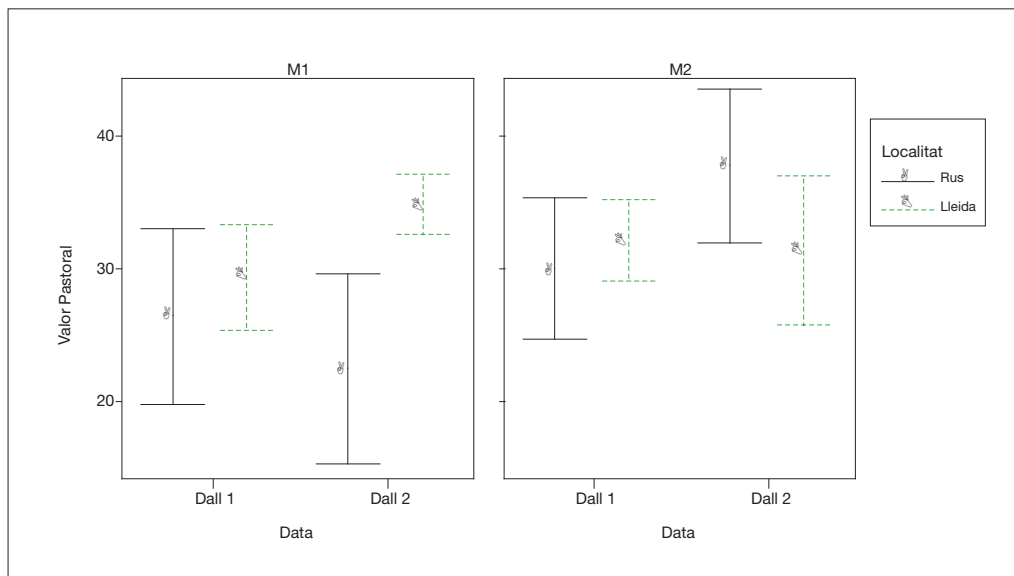


Figura 18. Canvis en el valor pastoral mitjà de dos prats subalpins del Pla de Rus, M1 i M2, en dues dates diferents, finals de juliol (dall 1) i mitjans de setembre (dall 2) en el conjunt de monòlits intactes de prats trasplantats a Lleida (triangles) i en els que es deixaren al prat a Rus (cercles). Es mostren els intervals de confiança del 95%.

Font: Sebastià, 2007.

irrigació, etc. El descens de la disponibilitat hídrica en zones de muntanya pot posar en perill la supervivència d'aquests sistemes. En algunes zones limítrofes, com el Montseny, cal irrigació per als prats de dall, mentre que en altres zones del Pirineu central i oriental n'hi ha prou amb l'aportació de les precipitacions i l'aigua freàtica. En un projecte que el Centre Tecnològic i Forestal de Catalunya (CTFC) i el Centre de Desenvolupament Rural Integrat de Catalunya (CEDRICAT) han fet a l'Alta Ribagorça, es posà de manifest que el segon dall només està assegurat quan es disposa de reg, en cas contrari el segon dall representa, com a molt, una quarta part de la producció del primer. La producció dels prats de dall constitueix l'element clau per al manteniment del bestiar durant l'hivern i, actualment, és el coll d'ampolla que determina la producció i la qualitat de la ramaderia a les comarques del Pirineu (Taull *et al.*, 2004). Una incorporació de sistemes d'irrigació o una millora dels existents que permetin un reg de suport esdevé necessari. Un canvi cap a més necessitat d'irrigació és previsible en un escenari de canvi climàtic, i això és possible en moltes d'aquestes zones amb petits

canvis en les infraestructures, i introduint mesures de reaprofitament de l'aigua; la recuperació de l'aigua de pluja en aquestes zones és afavorida per la topografia complexa. Altrament, l'efecte final pot ser fàcilment un augment encara més gran de la despoblació i l'abandó de les activitats agropecuàries, amb pèrdua de biodiversitat i qualitat del paisatge. Pel que fa a les varietats farratgeres cultivades acoblament amb la ramaderia extensiva en zones de muntanya, la situació seria similar a la descrita per als prats de dall.

A.6. Altres sistemes pastorals

A les zones mediterrànies, a més dels prats relativament esponerosos desenvolupats en algunes zones més humides i arrecerades, de caràcter transicional i relacionats amb els anteriors, els sistemes d'interès pastoral representen una barreja heterogènia de comunitats de fesonomia i funcionament variat (de Bello *et al.*, 2005; de Bello *et al.*, 2006). Comprenen un conjunt d'ecosistemes que van des dels prats secs i els llistonars dominats per *Brachypodium retusum*, sovint en mosaic amb la garriga de *Quercus coccifera* i d'altres llenyoses escleròfil·les, els matollars

dominats bé per labiades i cistàcies, bé per ericàcies, la pròpia garriga, els guarets i els rostolls i, en zones continentals estèpiques de l'interior, els espartars.

La situació actual de la ramaderia extensiva a zones de la Mediterrània septentrional és complexa i fins i tot contradictòria (de Bello *et al.*, 2002, taula 9). D'una banda, a zones àrides de la Depressió de l'Ebre s'ha vist sobrepasturatge en zones incultes, com a conseqüència de la llaurada i la sembra de més terres de cultiu en àrees tradicionalment dedicades a la pastura, la qual cosa contribueix de manera important a la degradació de la flora i a la denudació del sòl (Delgado *et al.*, 1995). Pel contrari, a les zones rurals la professió de pastor tendeix a desaparèixer, amb un abandonament i una proliferació d'espècies arbustives a causa d'una càrrega animal més baixa (Delgado *et al.*, 1997) o d'una distribució de la càrrega inadequada per sobreexplo-tació de les àrees més fàcilment accessibles i l'abandonament de les zones d'accés més difícils. Això porta a una acumulació de la biomassa en moltes zones i possiblement a una disminució de la presència de les espècies lligades a la pastura (Sebastià *et al.*, 1998). Aquest abandonament de les pastures i posterior augment de la coberta arbustiva pot augmentar el risc d'incendi. Aquest risc es pot veure agreujat durant l'hivern per una pujada de la cota de neu com a conseqüència d'una menor innivació i de les temperatures més altes, la qual cosa dona lloc a una major superfície de pastures i matollars assecats pel fred. Aquests incendis poden provocar una pèrdua de fertilitat dels sòls de les pastures i un augment del risc d'erosió.

Un altre efecte de l'abandonament podria ser la disminució de la diversitat d'espècies vegetals, tal com s'observà al llarg d'un transecte altitudinal i climàtic sobre el qual se superposava un gradient de pressió pastoral (de Bello *et al.*, 2002, 2006, 2007). A les zones amb més pastura es trobà una diversitat més elevada que a les zones abandonades, en termes tant de riquesa d'espècies com d'equitabilitat en les abundàncies d'aquestes espècies (Guardiola *et al.*, 2004; Sebastià *et al.*, 2008b). Al Pirineu, s'ha vist que el tipus de gestió pastoral té unes repercussions decisives sobre la diversitat, la

vegetació i la productivitat dels ecosistemes pastorals (Taüll i Sebastià 2002; de Bello *et al.*, 2007, Sebastià *et al.*, 2008b). Si volem conservar aquests ecosistemes, cal conèixer a fons la relació entre gestió pastoral i ecologia. La conservació dels seus valors naturals i socioeconòmics ho requereix, i el propi manteniment de les àrees protegides ocupades per aquests sistemes, com ara són parcs naturals, espais de la xarxa Natura 2000, etc., passa per dur a terme una gestió apropiada.

A.7. Ramaderia

Una part significativa de la dieta humana actual procedeix de productes animals carnis, lactis i ous. Factors climàtics com la temperatura, la precipitació i la humitat poden tenir importants efectes sobre la producció animal. L'estress tèrmic i la sequera poden tenir efectes negatius sobre els animals domèstics tan variats com la reducció de la fertilitat, l'augment de la mortalitat dels nadons, la pèrdua de pes dels animals adults, la reducció de la producció d'ous i de llet, i la pròpia supervivència del bestiar (Gates, 1993). La reducció de l'esmentat estrès tèrmic podria implicar necessitats energètiques més grans en ventilació.

La renda generada per les activitats ramaderes és molt elevada dins de les activitats agropecuàries a Catalunya. Catalunya és un exportador net de molts productes carnis importants (fig. 15). Ara bé, el problema és la gestió dels residus que aquestes activitats agropecuàries generen (fig. 19) i com evitar que contribueixin a la contaminació de les terres i dels aqüífers. Aquest problema es veu agreujat per la tendència detectada els darrers anys cap a una concentració del bestiar en menys explotacions, però més grans, en tots els tipus de bestiar (fig. 20).

A Europa, l'augment de la cabana de remugants ha estat moderat en el període comprès entre 1961 i 1990, amb una taxa del 33% (Sommerbroek i Gommers, 1997). A Catalunya s'observa una disminució d'unitats ramaderes (UR) de remugants de l'ordre del 25% aquests darrers cinc anys (IDESCAT 2008). En el porcí, la tendència en el nombre de caps es troba estabilitzada als darrers anys (fig. 13), i l'activitat econòmica del sector també (fig. 14).

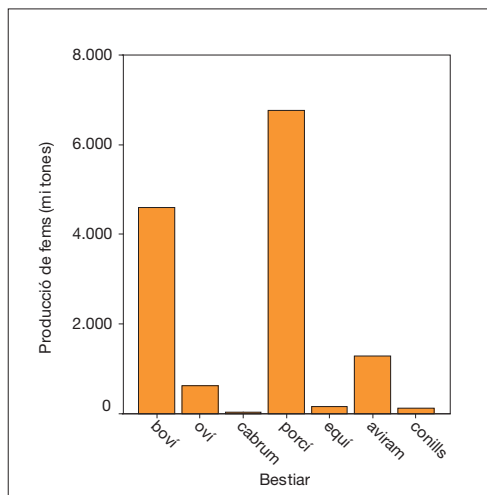


Figura 19. Producció de fems (en milers de tones) a Catalunya per tipus de bestiar l'any 2000.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Direcció de Serveis.

La concentració d'animals que resulta dels mètodes moderns de cria de bestiar produeix preocupació entre l'opinió pública per les olors indesitjables, la contaminació de les aigües, i l'emissió de gasos procedent de les femtes (Reddy i Hodges, 2000). S'ha dit, però, que el paper de

les dejeccions com a font de gasos amb efecte d'hivernacle probablement és relativament petit (Reddy i Hodges, 2000).

El canvi climàtic també pot tenir un efecte significatiu sobre el benestar animal, incloent-hi les malalties, moltes de les quals estan actualment limitades per restriccions climàtiques sobre els seus vectors o sobre els propis agents i el seu ambient (García Ispuerto, 2008.) També l'augment de la mobilitat de persones i animals permetrà la introducció i ràpida expansió de malalties entre països diferents, com s'ha vist recentment en el cas de la febre aftosa.

Les perturbacions biòtiques en el bestiar porcí conegudes més importants i que poden assolir més dimensió són: pesta porcina clàssica i altres pestivirus (BVD, *Border disease*), pesta porcina africana, malaltia vesicular porcina i malaltia d'Aujeszky. Les perturbacions conegudes en el bestiar boví són: brucel·losi bovina, leucosi enzootica bovina, peripneumònia contagiosa bovina, encefalopaties espongiformes bovines (BSE) i llengua blava; i en l'ovi i cabrum: brucel·losi, epididimitis contagiosa del marrà, scrapie i llengua blava. Les malalties de l'abella europea són també un bon exemple dels perills de la globalització i l'extensió de plagues. Aquest bestiar està patint nombroses plagues, entre elles la varroosi, causada per l'àcar *Varroa destructor*, el qual va passar a Sibèria fa dos segles procedent d'Àsia, i va arribar a Espanya l'any 1985. Actualment hi ha alerta sobre l'escarabat sudafricà *Aethina tumida*, que ja ha causat grans danys als Estats Units i Austràlia. També es tem l'entrada de gens de races forànies, com és el cas de les abelles africanitzades, barrejades amb abelles africanes (*Apis mellifera* ssp. *scutellata*), molt més agressives que les abelles locals, i ja esteses pel continent americà. Finalment, als darrers anys s'ha estès la síndrome del despoblament dels ruscus, l'origen de la qual encara no està clar, tot i que s'associa a un virus.

Pel que fa a accions per mitigar les emissions de la producció intensiva porcina i aviar de forma preventiva, esmentarem:

a) Millora de les característiques dels pinsos compostos aplicant un nivell més baix de proteïna amb l'ús d'aminoàcids sintètics i matèries primeres d'elevada digestibilitat.

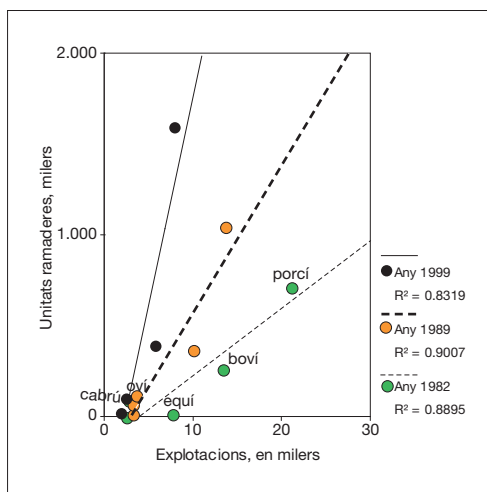


Figura 20. Evolució temporal de la relació entre el nombre de milers d'unitats ramaderes (UR) i el nombre de milers d'explotacions ramaderes a Catalunya els anys 1982, 1989 i 1999. El tipus de bestiar està indicat en cada cas.

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

- b) Programació i formulació de dietes equilibrades per fases de creixement animal.
- c) Afavoriment de la millora genètica animal considerant tant les característiques de creixement i producció, com les relacionades amb l'adaptació com la fertilitat, supervivència i vida productiva, en els principals sistemes de producció.
- d) Millora dels índexs de conversió mitjançant la granulació dels pinsos, afegint additius, minimitzant les pèrdues i fent un ús eficient de l'aigua de beguda.
- e) Millora dels allotjaments: bon disseny i augment de la freqüència de retirada de les dejeccions en el porcí i en l'aviar, podent obtenir una reducció d'emissió de NH_3 entre el 50% i 80%, N_2O del 29% i CH_4 del 32% (Ministerio del Medio Ambiente, 2006).
- f) Aplicació de sistemes de ventilació per evitar la volatilització dels compostos de nitrogen i contribuir al benestar animal.
- g) Emmagatzematge dels purins: cobriment de les fosses de purins garantint l'estanquitat. Així s'evita l'entrada d'aigües pluvials, la presència d'insectes i paràsits i permet obtenir un purí amb millors característiques agronòmiques (estabilització parcial de la matèria orgànica i major mineralització els nutrients). També permet la producció de biogàs i, per tant, l'aprofitament energètic dels purins (Teira, 2008).

Les emissions de la ramaderia intensiva de remugants es poden reduir amb el següent:

- a) Increment del nivell d'hidrats de carboni d'alta digestibilitat en la dieta (gra de cereal), substituint la quantitat, en termes d'energia, de farratges (Eun *et al.*, 2004). Dins d'això, incloure en la dieta els cereals més fermentables com pot ser substituir el gra d'ordi pel de blat moro, amb la qual cosa es redueix l'emissió de metà fins a un 4% (Beauchemin i McGinn 2005). Tot i això cal estudiar les conseqüències sobre el total de la producció de gasos amb efecte d'hivernacle per a cada cas i situació perquè hi ha resultats contradictoris.
- b) Aplicació de tractaments físics als farratges (temperatura, molturació, pelets) i dels grans de cereals (vapor) (Zinn, 1987).
- c) Additius o substàncies modificadores de l'ambient ruminal com els suplementes lipídics, olis

vegetals com el de coco, gira-sol (McGinn *et al.*, 2004), de peix (Fievez *et al.*, 2003), d'oli i olis essencials (Ungerfeld *et al.*, 2005). Aquests compostos redueixen les emissions de metà directament a través de la competència per equivalents reductors amb els microorganismes metànics i l'efecte tòxic directe sobre microorganismes ruminals, i indirectament a través de la reducció de la població de protozoos del rumen, que mantenen relacions simbiòtiques amb els microorganismes metanogènics (Machmüller *et al.*, 2003).

- d) Emmagatzematge dels purins en compartiments estancs.

La ramaderia extensiva emet més quantitat de gas metà per cap i any que no pas la intensiva, fonamentalment per la fermentació entèrica a partir dels recursos farratgers amb un contingut de fibra elevat tal i com ja s'ha esmentat més amunt. Malgrat aquest fet, globalment la contribució a l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle, i concretament de gas metà, és molt inferior en l'extensiva, que a Catalunya representa només el 21% del total de la ramaderia. En el bestiar boví en sistema intensiu l'emissió de metà representa el 76%, i el 24% en l'extensiu (dades elaborades a partir de IDESCAT, 2008).

La reducció de les emissions de metà dels remugants de sistemes extensius es pot dur a terme implementant el següent:

- a) En complementar la dieta dels animals per necessitats energètiques, substituir part de l'energia alimentària de les pastures i/o farratge per la d'aliments concentrats, com els grans de cereals de digestibilitat més elevada. Només es tracta de substituir una època de l'any, quan necessiten aportació extra d'energia (per exemple al final de la gestació o alletament) una part del farratge.
- b) No emprar palla per a la ració de volum.
- c) Ajustar la capacitat de càrrega ramadera admissible a la tipologia de cada agrosistema, respectant el límit que marca el Reglament CE 1804/1999 de no sobrepassar el màxim de 170 kg nitrogen $\text{ha}^{-1} \text{any}^{-1}$.

A.8. Sistemes silvícoles

Tot i que les respostes del bosc al canvi climàtic s'analitzen amb més deteniment en el

capítol 10 d'aquest volum (Peñuelas *et al.*, 2010), el present capítol es complementa amb aquell i té en compte alguns aspectes que poden ser rellevants de cara al desenvolupament d'una silvicultura sota condicions de canvi.

L'ampla escala temporal amb què es gestionen els boscos, amb torns de 80-120 anys, segons espècie i zona, implica que el canvi climàtic tindrà lloc, en general, en les masses arbòries que hi ha en aquests moments (Kellomäki *et al.*, 2000). En escenaris de canvi climàtic, la competitivitat de la nostra fusta només pot disminuir en comparació amb els boscos europeus situats més al nord, els quals veuran augmentar la seva productivitat per efecte de l'escalfament i la fertilització amb materials nitrogenats (Kellomäki *et al.*, 2000). La reducció en la rendibilitat dels productes forestals directament consumits pel mercat no pot fer altra cosa que agreujar la desatenció dels nostres boscos, amb una tendència encara més acusada a l'abandonament de llur gestió. Si l'aplicació de la gestió dels boscos depèn únicament de la fusta, i no s'apliquen mesures correctores que en fomentin la gestió, l'abandonament de la gestió dels boscos per part dels seus propietaris per manca de competitivitat en escenaris de canvi climàtic pot tenir repercussions molt indesitjables en termes de la seva protecció, amb un increment del risc d'incendi. A aquest efecte s'hi afegeix un previsible augment de les zones boscoses a causa de l'abandó de les activitats agrícoles de secà, amb un augment de la massa de bosc jove més vulnerable, i unes condicions climàtiques més càlides, i per tant evapotranspiració més elevada, fins i tot amb pluviositat comparable.

La situació dels boscos a Catalunya davant del canvi climàtic es pot analitzar a grans trets diferenciant el bosc mediterrani —basal i montà— del bosc d'altitud —altimontà i subalpí— (taula 10). En general, els boscos són sistemes dominats per plantes perennes de vida llarga, i presenten una resistència superior a altres sistemes dominats per espècies de cicle de vida curt i talla reduïda. Sota el dosser del bosc es produeix un microclima dulcificat en comparació amb les condicions externes. Dins d'aquest ambient les plantes joves poden créixer en condicions relativament arrecerades. Tanmateix, la desaparició

brusca d'aquest sistema, per exemple per un incendi de gran extensió com el produït al Berguedà al 1994, o el del Solsonès del 1998, pot fer perillar la pròpia regeneració del bosc i dificultar la tornada a unes condicions originals amb un clima general ara poc favorable, a menys que hi dominin les espècies rebrotadores, cas freqüent a Catalunya. A llarg termini, la transició cap a sistemes arbustius probablement s'intensificarà a les zones baixes i amb microclimes més secs i calents, mentre que el bosc mediterrani tendirà a ascendir per les nostres muntanyes. L'orografia complexa de Catalunya permetrà el manteniment del bosc mediterrani i dels béns i serveis que aquest ens proporciona a altituds més elevades, però a canvi els boscos de muntanya veuran amenaçada la seva supervivència. Tot i que es preveu una pujada del límit altitudinal del bosc subalpí de pi negre (*Pinus uncinata*) i del bosc altimontà de pi roig (*Pinus sylvestris*) per invasió de les zones alpines i les congestes, el límit inferior del bosc es reduirà, especialment a les zones on el bosc creix avui en condicions molt severes (Gracia *et al.*, 2001), amb la qual cosa la superfície total globalment decreixerà. Alguns estudis duts a terme al Montseny semblen indicar que la substitució de les espècies montanes per espècies mediterrànies podria estar ja en marxa (Peñuelas i Boada, 2003). Un efecte que pot actuar a favor de l'extensió de les zones boscoses és l'abandó de terres agrícoles. De fet, l'anàlisi de l'evolució de la proporció de terres ocupades per diferents tipus de bosc les darreres dues dècades mostra un decreixement relatiu de les coníferes i un increment dels planifolis i, particularment, dels boscos mixtes, la qual cosa podria suggerir processos de successió (figs. 11 i 13). Amb tot, s'espera que els efectes del canvi climàtic sobre els boscos es faran palesos més lentament que els efectes dels canvis d'usos, que són més ràpids i ja s'estan veient (Ameztegui *et al.*, en premsa); també s'esperen interaccions entre tots dos factors sobre els ecosistemes naturals. Tal i com han trobat de Bello *et al.* (2005, 2006, 2007, 2009), es pot esperar que es produeixen interaccions entre canvi climàtic i canvi d'ús.

El creixement dels boscos d'alta muntanya i la producció de fusta s'espera que serà més gran

	Superfície	Creixement de fusta	Aprofitaments forestals (en l'actualitat, motor de la gestió)	Diversitat biològica	Productes secundaris	Usos recreatius i paisatgístics	Riscos naturals (incendis)	Embornal de carboni
BOSC DE MUNTANYA (altimontà i subalpi)	Increment per pujada del límit altitudinal del bosc i colonització de les zones de neus perpètuas, però decrement del límit inferior del bosc. Globalment, decreix.	S'allargarà el període vegetatiu, ara limitat per la temperatura. Si la temperatura s'incrementés molt podria créixer per sequera estival.	Decrement per manca de rendibilitat de l'explotació (si puja l'altitud del bosc, també puja el pendent i es dificulta el treball d'extracció).	Desaparició d'espècies, particularment les d'altitud.	Decrement de la producció micològica per manca d'aigua, però allargament de l'estació si no hi hagués sequera.	Manteniment o possible augment per allargament de l'estació favorable per dur a terme activitats a l'aire lliure. O decrement per pèrdua de mosaic paisatgístic i interès micològic.	Major risc d'incendis per la possible disminució de la precipitació a les zones de muntanya. Mediterranització d'algunes zones.	Decrement de la capacitat d'embornal de carboni.
BOSC MEDITERRANI (montà i inferior)	Increment per pujada del límit altitudinal superior (substitució dels boscos subalpins) i també per abandonament de l'agricultura.	Decrement per sequera estival.	Decrement per manca de rendibilitat de la fusta, i competència de la fusta d'altres països que tindran millors creixements.	El principal factor limitant s'extrema. Decrement per manca d'aigua i aridesa.	Decrement de la producció micològica. Augment de la qualitat de les plantes aromàtiques. Augment potencial dels productes apícoles.	Manteniment	Major risc d'incendis degut a: Augment de la superfície total. Augment de la superfície insuficientment gestionada. Més abandonament rural per manca de viabilitat agrícola. Boscos més joves, amb fusta més prima.	Manteniment de la capacitat d'embornal de carboni.

Taula 10. Comparació dels canvis proposats per als boscos mediterranis i de muntanya catalans en el supòsit de pujada de temperatures i manteniment de la pluviometria.

per les temperatures més favorables per al creixement vegetal, però les diferències entre localitats es faran més evidents, particularment en funció del règim hidrològic local (Tardif *et al.*, 2003). S'ha observat un augment de la variabilitat interanual en el creixement dels boscos d'altitud pirinencs en els darrers anys, probablement relacionat amb l'increment de la variabilitat climàtica associada amb el canvi climàtic (Tardif *et al.*, 2003). D'altra banda, l'abandó de terres agrícoles en zones de muntanya, generalment situades en localitzacions microtopogràfiques més planeres dins de l'orografia complexa de les nostres muntanyes, pot afavorir el desenvolupament dels arbres i també facilitar-ne l'extracció (Bayfield *et al.*, 2003, 2008). Tanmateix, la davallada en la disponibilitat hídrica amb l'escalfament pot reduir de manera marcada el creixement de les plantes del bosc mediterrani (Ogaya *et al.*, 2003). Tant per al bosc mediterrani com per al de muntanya, es preveu una disminució dels aprofitaments forestals fustaners per manca de la rendibilitat de la fusta per l'augment de costos d'extracció en molts casos, reducció del creixement si augmenta la freqüència de sequera estival, i competència amb altres països amb creixements i regeneració millorades per causa del canvi climàtic, com poden ser els boreals (Kulls i Tullus, 2002; Broekke, 2000).

També alguns productes forestals no fustaners de gran importància en els boscos mediterranis poden veure's amenaçats amb el canvi climàtic. La producció de bolets dels boscos catalans pot minvar per episodis més o menys continuats de sequera. En canvi, es podria produir un augment en la qualitat de les plantes aromàtiques, i en la producció de mel i altres productes apícoles si augmenten les brolles mediterrànies, molt riques en espècies mel·líferes de qualitat, com el romaní, la farigola, l'espígol, la botja, el bruc, etc. (Bonet *et al.*, 1985).

Els ecosistemes mediterranis es troben entre els més diversos del món i també són dels més amenaçats des del punt de vista de pèrdua de biodiversitat (Sala *et al.*, 2000). No totes les espècies d'una comunitat reaccionen de manera similar enfront dels mateixos factors ambientals, i aquestes diferències poden portar a canvis en les interaccions entre les espècies i modificacions

profundes en la seva composició i estructura. Per exemple, la disponibilitat hídrica sembla ser un dels factors més importants en les relacions de competència entre les plantes dels ecosistemes mediterranis (Vilà i Sardans, 1999). Es calcula que una reducció del 10% de les precipitacions pot portar a una reducció de la reserva hídrica com a conseqüència de l'augment de la taxa de transpiració dels arbres i de la major evaporació (Gracia *et al.*, 2001). Diferències en la resistència a la sequera entre espècies del bosc mediterrani poden portar a canvis espectaculars en la distribució de plantes (Martínez-Vilalta *et al.*, 2002) i moltes espècies podrien desaparèixer sota les noves condicions (Bakkenes *et al.*, 2002). Per tant, s'espera l'extinció d'espècies en els boscos mediterranis. Molt més vulnerables encara són els nostres boscos de muntanya, sobretot les espècies de més altitud, les quals poden desaparèixer fàcilment si no disposen de zones a altituds superiors cap a les quals migrar (Araújo *et al.*, 2004.). Les migracions al llarg del gradient altitudinal, fins i tot quan són possibles, són més fàcils per a determinades espècies, sobretot les que mostren més mobilitat, com és el cas de molts animals, i més complicat per a altres, com és el cas dels organismes sèssils com els vegetals. Fins i tot dins dels organismes vegetals se sap que hi ha diferències en la capacitat de migració, i això ha portat a grans canvis al llarg del temps en la vegetació dels boscos. D'altra banda, cal considerar les interaccions entre el canvi climàtic i d'ús del sòl i la gestió forestal, que afavoreixin mesures de conservació i formació de boscos madurs i espècies associades (Paillet *et al.*, 2010).

Pel que fa als usos recreatius i paisatgístics dels nostres boscos, la potencialitat per a l'ús recreatiu tal i com es produeix actualment serà el mateix. Se'n pot augmentar la utilització si s'allarga l'estació favorable per a les activitats a l'aire lliure, o disminuir si es produeix la davallada esperada de turisme en les àrees mediterrànies o es perd part de l'ambient nemoral que els fa atractius o l'oportunitat de recollir-hi bolets. La diversificació del paisatge, però, podria disminuir, per exemple si es produeix l'abandó de les activitats agropecuàries en les zones rurals, amb el consegüent increment de la superfície de bosc,

o si es produeixen grans incendis que afecten superfícies de moltes hectàrees.

Quant als riscos naturals, als nostres boscos l'amenaça principal és el foc. Tot i que cal no oblidar que el factor antròpic és clau en el tema dels incendis, un augment de la sequera com a conseqüència del canvi climàtic portarà a un augment del risc d'incendi en les zones mediterrànies (Scarascia-Mugnoza *et al.*, 2000) i un desplaçament del risc cap a zones geogràfiques i èpoques de l'any on ara és baix. De fet, els grans incendis ocorreguts a Catalunya les darreres dècades han tingut lloc en escenaris de mitja muntanya, on no hi eren habituals. Tot i que la seva causalitat és complexa, el paper de la sequera és palès. Si la cota de les neus de l'alta muntanya catalana puja d'altitud per una disminució de la innivació o un augment de la temperatura, durant l'hivern hi haurà més superfície de matollars assecats pel fred que augmentaran el risc d'incendi a l'alta muntanya. L'augment de la recurrència de focs en aquestes zones on no són habituals fa que les conseqüències dels incendis —tant ecològiques com econòmiques— siguin més greus. Els incendis en zones de mitja muntanya poden comportar la desaparició d'algunes espècies, tant vegetals com animals, i la pèrdua de fertilitat dels sòls. Així, després dels focs del Solsonès s'ha fet palesa la manca de regeneració de la pinassa (*Pinus nigra* ssp. *salzmannii*), espècie que no és rebrotadora i el reclutament de la qual és molt reduït o nul després del foc (Retana *et al.*, 2002), a diferència d'espècies més típicament mediterrànies com el pi blanc (*P. halepensis*) o el pinastre (*P. pinaster*). L'augment del risc d'incendi en aquestes zones de mitjana muntanya pot ser un factor addicional més als causats pel canvi climàtic (disminució de la producció, plagues...) que facin perillar la sostenibilitat econòmica dels aprofitaments forestals a Catalunya. Cal recordar que a les zones de muntanya pirinenques s'ha predit una possible reducció de les precipitacions, la qual s'afegiria a l'ambient general de sequera causada per l'augment de les temperatures (Calbó *et al.*, 2010). A l'escenari de sequera s'hi afegeix la previsió de boscos joves i densos amb arbres de diàmetre de tronc petit i baixada del nivell d'aprofitament i de gestió per disminució

de la rendibilitat econòmica dels aprofitaments fustaners. Tot plegat fa que es pugui preveure un escenari de major risc i vulnerabilitat dels boscos enfront dels incendis forestals i d'altres pertorbacions. Aquest fet es lliga també amb una disminució de la fragmentació dels espais agroforestals per transformació del sòl agrícola a forestal degut a l'abandonament, la qual cosa pot fer més complicada l'extinció dels incendis. A Catalunya, s'han desenvolupat models de predicció dels riscos d'incendis basats en el contingut d'humitat d'espècies vegetals com *Cistus monspeliensis* amb bon resultat (Castro *et al.*, 2003). Aquests i altres models poden proporcionar una eina prometedora en la detecció de les situacions de risc.

Respecte de la protecció del bosc, s'espera que augmentin les malalties i les plagues per invasió d'organismes desconeguts fins ara en certes àrees, els quals es troben restringits pels períodes de fred hivernal. Un exemple n'és la processonària del pi.

Els boscos proporcionen altres béns i serveis a la societat (vegeu Peñuelas *et al.*, 2010). Per exemple, ajuden a regular l'escorrentia en moments de molta pluja, i els sòls forestals constitueixen el principal magatzem de CO₂ als ecosistemes terrestres (Gràcia *et al.*, 2010). Quan la disponibilitat d'aigua no és limitant per a la descomposició, un augment de la temperatura produeix un augment de la mineralització de la matèria orgànica del sòl i, conseqüentment, un flux de CO₂ del sòl cap a l'atmosfera. En un transecte latitudinal des de Suècia fins al país Valencià (Projecte VAMOS, EU DGXII) on s'estudiava la mineralització de la matèria orgànica sotmesa a un escalfament (simulat mitjançant un trasplantament de cilindres de sòls a una latitud inferior a la original) apunta que els ecosistemes nòrdics constituïrien una font de CO₂ en el marc d'un escalfament mentre que els mediterranis en serien un embornal (Coûteaux *et al.*, 2001). No obstant això, cal tenir en compte l'efecte que podria tenir un canvi en el règim de precipitació. Així, en un altre estudi realitzat a la depressió de l'Ebre es va constatar un augment del flux de CO₂ des del sòl a l'estiu quan coincidien temperatures i disponibilitat d'aigua elevades, com per exemple després d'una tempesta d'estiu (Casals *et al.*, 2000), tot i

que l'escala rellevant en aquests processos seria l'escala anual.

Els incendis forestals tenen efectes directes sobre el CO₂ acumulat als boscos i indirectes pel canvi d'ús que sovint comporten. Així després dels incendis del Berguedà i del Solsonès, moltes zones forestals s'han convertit en zones agrícoles, de tal manera que ha disminuït la capacitat d'acumular C entre d'altres funcions ecològiques. Un altre efecte a tenir en compte és la reducció de la vida mitjana de les fulles en espècies perennifòlies, la qual cosa implica una major despesa del carboni en el manteniment de la capacitat i una reducció en l'assignació de carboni en els altres òrgans. A més, cal considerar que la fullaraca al terra farà augmentar la respiració del bosc (Gracia *et al.*, 2001).

Per acabar, es poden resumir les vulnerabilitats dels sistemes forestals. Quan es parla de vulnerabilitat en boscos, sovint es fa menció a processos forestals, perturbacions, biodiversitat i beneficis socioeconòmics dels boscos (Joyce *et al.*, 2001).

- Els processos forestals regulen els fluxos de carboni, aigua, nutrients i altres constituents. Aquests processos actuen a diferents escales que van des de l'escala de fulla a l'escala de paisatge i influeixen en les respostes dels ecosistemes pel que fa a productivitat enfront de factors com temperatura, precipitació o concentracions atmosfèriques de CO₂.
- Els boscos estan sotmesos a perturbacions que a la vegada estan influïdes pel clima. Entre aquestes perturbacions naturals poden mencionar-se els incendis, les tempestes, els tornados, la sequera, les plagues i l'entrada de noves espècies.
- Pel que fa a la biodiversitat, el clima té influència en la distribució i abundància de plantes i animals a través de la cadena tròfica, l'hàbitat i la supervivència.
- Els processos forestals i la diversitat biològica dels ecosistemes forestals proporcionen béns i serveis a la societat (com fusta, fruits i plantes per recol·lectar) però també serveis com la cacera (Sebastià *et al.*, 2008c), paisatge, qualitat en l'aigua i l'aire, etc.

Per abordar la gestió dels boscos catalans en el context actual cal incorporar diferents aproxi-

macions a la gestió forestal (Piqué i Vericat, 2007):

- a) Gestió multifuncional. Fixar i prioritzar objectius o funcions i compatibilitzar amb la resta.
- b) Gestió per a la persistència (*management for resilience*), "gestió pròxima a la natura". El principal objectiu és fer ecosistemes forestals més resistents i resilents. La millor manera d'aconseguir això es mantenir la complexitat dels ecosistemes, entesa com a diversitat i variabilitat inter i intrarodol.
- c) Gestió adaptativa (*adaptive forest management*), "gestió ecosistèmica", per a la gestió d'ecosistemes complexos i diversos. Els models de gestió varien en cada cas i poden canviar en el temps. En tots els casos cal un bon coneixement de l'espai forestal a gestionar. La identificació i caracterització de les principals tipologies forestals i la seva relació amb el canvi global n'esdevenen elements clau.

La gestió silvícola orientada a 'adaptació als canvis' o gestió adaptativa esdevindrà un element cabdal per la conservació dels espais forestals i l'activitat silvícola. Per afrontar els canvis previsibles serà imprescindible aplicar una gestió adaptativa (Gracia *et al.*, 2004) i integrar en les orientacions de gestió forestal els possibles efectes i relacions amb el canvi climàtic. Els boscos a Europa s'han gestionat intensivament durant segles, per això hi ha desenvolupades nombroses opcions de gestió i tota una ciència, la silvicultura, que poden ser utilitzades per adaptar els boscos al canvi climàtic (Alamo *et al.*, 2007).

A.9. Indústries agroalimentàries

Les indústries agroalimentàries tenen moltes oportunitats d'adaptació i de mitigació, la qual cosa tindria molta importància sobre el canvi climàtic a Catalunya, ja que es tracta d'una de les activitats econòmiques catalanes més rellevants. Hi ha mesures que serien comunes amb la resta de les indústries catalanes. Però hi ha també moltes oportunitats específiques de les agroalimentàries, de les quals ja n'hem esmentat unes quantes anteriorment. Algunes empreses agroalimentàries han apostat fort per introduir mesures, i estan ben preparades (taula 11).

Mesures de mitigació	Mesures d'adaptació	Altres mesures ambientals
Aprofitament d'energia fotovoltaica Utilització d'energia fototèrmica per escalfar aigua Incorporació de vehicles híbrids de baix consum Utilització de biodièsel Promoció del cultiu de sembra directa Protecció dels boscos	Depuració i reutilització d'aigües Recollida d'aigua pluvial Adquisició de terres en zones pirinenques Incentivar pràctiques de cultiu ecològiques	Protecció de l'àliga perdiguera

Taula 11. Algunes mesures relacionades amb el canvi climàtic adoptades per Bodegues Torres, una empresa catalana agroalimentària que ha apostat fort per fer front al canvi climàtic. D'altres empreses i sectors estan plantejant-se introduir mesures, o ja les estan aplicant.

Referències

- ALCAMO, J.; MORENO, J.M. [et al.], (2007). «Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change». A: PARRY, M.L.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. [eds.]. O. F. C. Cambridge (UK): Cambridge University Press, p. 541-580.
- AMEZTEGUI, A.; BROTONS, L.; COLL, L. (2010). «Land-use changes as major drivers of Mountain pine (*Pinus uncinata* Ram.) expansion in the Pyrenees». *Global Ecology and Biogeography*. (En premsa).
- BAKKENES, M.; ALKEMADE, J.R.M.; ILHE, F.; LEEMANS, R.; LATOUR, J.B. (2002). «Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050». *Global Change Biology*, 8, p. 390-407.
- BAYFIELD, N.; SEBASTIÀ, M.T.; DOMÍNGUEZ, G.; [et al.] (2003). «Stakeholder perception of impacts of EU policy change and mountain landscapes». Workshop at Alinyà valley, 11 June (2003). *CARBOMONT report* (2003).
- BAYFIELD, N.; BARANCOCK, P.; FURGER, M. [et al.] (2008). «Stakeholder perceptions of the impacts of rural funding scenarios on mountain landscapes across Europe». *Ecosystems*, 11, p. 1368-1382.
- BEAUCHEMIN, K.A.; MCGINN, S.M. (2005). «Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets». *Journal of Animal Science*, 83, p. 653-661.
- BONET, A.; RITA, J.; SEBASTIÀ, M.T. (1985). «La flora mel·lífera de Barcelona». Barcelona: Diputació de Barcelona.
- BOTTNER, P.; COUTEAUX, M.M. (1991). «Effect of plant activity on decomposition: soil-plant interactions in response to increasing atmospheric CO₂ concentration». A: VAN BREEMEN, N. [ed.]. *Decomposition and accumulation of organic matter in terrestrial ecosystems: Research priorities and approaches*. The Netherlands: Doorwerth, p. 39-45.
- BROECKE, F.H.; «Norway Country Report». (2000) A: KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPEVETELÄINEN, T. [eds.]. «Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe». *European Forests Institute. Proceedings*, 34, p. 87-92.
- CANALS, R.M.; SEBASTIÀ, M.T. (2000a). «Analyzing mechanisms regulating diversity in rangelands through comparative studies: a case in the southwestern Pyrenees». *Biodiversity and Conservation*, 9, p. 965-984.
- (2000b). «Soil nutrient fluxes and vegetation changes on molehills». *Journal of vegetation Science*, 11, p. 23-30.
- CANALS, R.M.; HERMAN, D.J.; FIRESTONE, M.K. (2003). «How disturbance by fossorial mammals alters N cycling in a California annual grassland». *Ecology*, 4, p. 875-881.
- CANNELL, M.G.R.; SMITH, R.I. (1986). «Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees». *Journal of Applied Ecology*, 23, p. 177-191.
- CASALS, P.; ROMANYÀ, J.; CORTINA, J. [et al.] (2000). «CO₂ efflux from a Mediterranean semi-arid forest soil. I Seasonality and effects of stoniness». *Biogeochemistry*, 48, p. 261-282.
- COÛTEAUX, M.M.; BOTTNER, P.; ANDERSON, J.M. [et al.] (2001). «Decomposition of ¹³C-labelled standard plant material in a latitudinal transect of European coniferous forests: Differential impact of climate on the decomposition of soil organic matter compartments». *Biogeochemistry*, 54, p. 147-170.
- DAR (2008). «Dades bàsiques de l'agroalimentació a Catalunya». Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- (2010). «Informe anual avançat de la indústria i el consum agroalimentaris a Catalunya». Barcelona:

- Generalitat de Catalunya. <<http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR/>>
- DE BELLO, F.; TORRIGIANI, T.; SEBASTIÀ, M.T. (2002). «Influencia del pastoreo en la composición de la vegetación a lo largo de un gradiente climático». Lleida: Actas de la XLII de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, p. 123-127.
- DE BELLO, F.; LEPS, J.; SEBASTIÀ, M.T. (2005). «Predictive value of plant traits to grazing along a climatic gradient in the Mediterranean». *Journal of Applied Ecology*, núm. 42, p. 824-833.
- (2006). «Variations in species and functional plant diversity along climatic and grazing gradients». *Ecography*, 29, p. 801-810.
- (2007). «Grazing effects on the species-area relationship: Variation along a climatic gradient in NE Spain». *Journal of Vegetation Science*, 18, p. 25-34.
- DE BELLO, F.; BUCHMANN, N.; CASALS, P. [et. al.] (2009). «Relating plant species and functional diversity to community d13C in NE Spain pastures». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131, p. 303-307.
- DE BELLO, F.; THUILLER, W.; LEPS, J. [et. al.] (2009). «Partitioning of functional diversity reveals the scale and extent of trait convergence and divergence». *Journal of Vegetation Science*, 20, p. 475-486.
- DE LUIS, I. (2000). «Efectos del aumento de la concentración de CO₂ atmosférico en plantas de alfalfa fijadoras de nitrógeno bajo condiciones de estrés». Pamplona: Universidad de Navarra (Tesi doctoral).
- DELGADO, I.; OCHOA, M.J.; ALBIOL, A. [et. al.] (1995). «Descripción y evaluación de la fitomasa presente en áreas no cultivadas de la comarca de Monegros». *Pastos*, vol. 25, 1, p. 87-97.
- DELGADO, I.; ALBIOL, A.; OCHOA, M.J.; MUÑOZ, F. (1997). «Encuesta a pastores sobre valoración forrajera de la flora autóctona en Monegros». *ITEA*, vol. 18, 1, p. 245-247.
- DRAKE, B.G.; AZCÓN-BIETO, J.; BERRY, J. [et. al.] (1999). «Does elevated CO₂ concentration inhibit mitochondrial respiration in green plants?». *Plant, Cell and Environment*, 22, p. 649-657.
- EPSTEIN, H.E.; WALKER, M.D.; CHAPIN III, F.S.; STARFIELD, A.M. (2000). «A transient, nutrient-based model of Arctic plant community response to climate warming». *Ecological Applications*, 10, p. 824-841.
- EUN, J.S.; FELLNER, V.; GUMPERTZ M.L. (2004). «Methane production by mixed ruminal cultures incubated in dual-flow fermentors». *Journal Dairy Science*, 87, p. 112-121.
- FIEVEZ, V.; DOHME, F.; DANNEELS, M. [et. al.] (2003). «Fish oils as potent rumen methane inhibitors and associated effects on rumen fermentation in vitro and in vivo». *Animal Feed Science and Technology*, 104, p. 41-58.
- GATES, D.M. (1993). *Climate change and its biological consequences*. Sunderland. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- GARCÍA-ISPIERTO, I.; LÓPEZ-GATIUS, F.; BECH-SABAT, G. [et. al.] (2007). «Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain». *Theriogenology*, 67, p. 1379-1385.
- GRACIA, C.; SABATÉ, S.; LÓPEZ, B.; SÁNCHEZ, A. (2001). «Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión forestal y cambio global». A: ZAMORA, R.; PUGNAIRE, F. (eds.). *Ecosistemas mediterráneos: Análisis funcional*. Madrid: CSIC i AEET, p. 351-372.
- GRACIA, C.; ABRIL, M.; BARRANTES, O. [et. al.] (2004). *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Mètodes*. Barcelona: CREAF, Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals.
- GUARDIOLA, M.; DE BELLO, F.; SEBASTIÀ, M.T. (2004). «Spatio-temporal changes in structural patterns in subalpine grasslands under different environmental conditions and management regimes». *Grassland Systems in Europe*, 9, p. 296-298.
- GUEREÑA, L.B.; RUIZ-RAMOS, M.; DÍAZ-AMBRONA, C.H. [et. al.] (2001). «Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models». *Agronomy Journal*, 93, p. 237-249.
- HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J. [et. al.] (2001). *Climate Change, (2001). The scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IDESCAT (2008). *Anuari estadístic de Catalunya 2008*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. IDESCAT.
- (2009). «Els canvis en les explotacions agràries catalanes (1999-2007)». *Dossiers IDESCAT*, núm. 2. Barcelona: Generalitat de Catalunya, IDESCAT.
- JOYCE, L.A.; ABER, J.; McNULTY, S. [et. al.] (2001). «Potential consequences of climate variability and change for the forests of the United States». A: NATIONAL ASSESSMENT SYNTHESIS TEAM [ed.]. *Climate change impacts on the United States: The potential consequences of climate variability and change* Cambridge: Cambridge University Press., cap. 17.
- KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPVETELÄINEN, T. (eds) (2000). «Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe». *EFI Proceedings*, 34, p. 1-117.

- KIRWAN, L.; LÜSCHER, A.; SEBASTIÀ, M.T. [et. al.] (2007). «Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland systems across 28 European sites». *Journal of Ecology*, 95, p. 530-539.
- KULL, O.; TULLUS, H.; (2000). «Estonia Country Report». A: KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPVETELÄINEN, T. [eds]. «Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe». *EFI Proceedings*, 34.
- LAWLOR, D. W.; MITCHELL, R.A.C. (2000). «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Wheat». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon (UK): CABI Publishing.
- LEBOT, J. E. (1997). *El canvi climàtic*. Barcelona: Rubes Editorial SL i Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient.
- MACHMÜLLER, A. C. R.; SOLIVA, M.; KREUZER, R. (2003). «Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage production». *British Journal of Nutrition*, 90, p. 529-540.
- MARM (2006). *Asistencia técnica para la implantación de IPPC*. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente, Rural y Marino.
- MARTÍNEZ-VILALTA, J.; PIÑOL, J.; BEVEN, K. (2002). «A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean». *Ecological Modelling*, 155, p. 127-147.
- MCCRABB, G. J. (2002). «Nutritional options for abatement of methane emissions from beef and dairy systems in Australia». A: TAKAHASHI, J.; YOUNG, A. [eds]. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. Amsterdam: Elsevier, p. 115-124.
- MCGINN, S.M.; BEAUCHEMIN, K.A.; COATES, T.; COLOMBATTO, D. (2004). «Methane emissions from beef cattle: Effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid». *Journal of Animal Science*, 82, p. 3346-3356.
- MIGLIETTA, F.; BINDI, M.; VACCARI, F.P. [et al.] (2000). «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Root and Tuberous Crops». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon (UK): CABI Publishing.
- OGAYA, R.; PEÑUELAS, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MANGIRÓN, M. (2003). «Effect of drought on diameter increment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain». *Forest Ecology and Management*, 180, p. 175-184.
- PAILLET, Y.; BERGÈS, L.; HJÄLTÉN, J. [et. al.] (2010). «Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: Meta-analysis of species richness in Europe». *Conservation Biology*, 24, p. 101-112.
- PEET, M.M.; WOLFE, D.W. (2000). «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Vegetable Crops». A: REDDY, K.R.; HODGES, H.F. (2000). *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon (UK): CABI Publishing.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; COMAS, P. (2002). «Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region». *Global Change Biology*, 8, p. 531-544.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. (2002). «A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)». *Global Change Biology*, 9, p. 131-140.
- PIQUÉ, M.; VERICAT, P. (2007). «Elaboració d'orientacions de gestió (ORGEST) per als boscos catalans: les tipologies forestals com a eina». A: *Llibre de ponències i resums*, 2on Congrés Forestal Català, p. 52.
- REDDY, K.R.; HODGES, H.F. (2000). «Climate Change and Global Crop Productivity: an Overview». A: REDDY, K.R.; HODGES, H.F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon (UK): CABI Publishing.
- REILLY, J. (1995). «Changement de climat, agriculture globale et vulnérabilité régionale». A: BAZZAZ, F.A.; SOMBROEK, W. G. [eds]. *Changements du climat et production agricole*. Roma i París: FAO, Polytechnica.
- RETANA, J.; ESPELTA, J.M.; HABROUK, A. [et. al.] (2002). «Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in NE Spain». *Ecoscience*, 9, p. 89-97.
- RUSTAD, L.E.; CAMPBELL, J.L.; MARION, G.M. [et. al.] (2001). «A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and above-ground plant growth to experimental ecosystem warming». *Oecologia*, 126, p. 543-562.
- SALA, O.; CHAPIN III, E.S.; ARMESTO, J.J. [et. al.] (2000). «Global biodiversity scenarios for the year (2010)». *Science*, 287, p. 1770-1774.
- SCARASCIA-MUGNOZZA, G.; MATTEUCCI, G.; MAGNANI, F.; BORGHETTI, M. (2000). «Italy, Malta, Greece and Albania Country Report». A: KELLOMÄKI, S.; KARJALAINEN, T.; MOHREN, F.; LAPVETELÄINEN, T. [eds]. *Expert assessment of the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe*. EFI Proceedings 34, p. 81-86.

- SEBASTIÀ, M.T. (2004). «The role of topography and soils in the structuring of subalpine grasslands vegetation in the Pyrenees at the landscape and the community scales». *Basic and Applied Ecology*, 5, p. 331-346.
- SEBASTIÀ, M.T.; DE BELLO, F.; PUIG, L.; TAULL, M. (2008a). «Grazing as a factor structuring grasslands in the Pyrenees». *Applied Vegetation Science*, 11, p. 215-222.
- SEBASTIÀ, M.T.; CANALS, R.M.; GAMARRA, J.G.P. (1998). «After sigmatism: what we learned about spatiotemporal changes in grassland communities after 10 years». *Acta Botanica Barcinonensis*, 45, p. 587-602.
- SEBASTIÀ, M.T.; LÜSCHER, A.; CONOLLY, J. [et. al.] (2004b). «Higher yield and fewer weeds in grass/legume mixtures than in monocultures - 12 sites of COST action 852». *Grassland Systems in Europe*, 9, p. 483-485.
- SEBASTIÀ, M.T.; MOLA, B.; ARENAS, J.M.; CASALS, P. (2004a). «Biomass responses of subalpine grasslands in the Pyrenees under warming conditions». *Grassland Systems in Europe*, 9, p. 290-292.
- SEBASTIÀ, M.T.; KIRWAN, L.; CONNOLLY, J. (2008b). «Strong shifts in plant diversity and vegetation composition in grassland shortly after climatic change». *Journal of Vegetation Science*, 19, p. 299-306.
- SEBASTIÀ, M.T.; PUIG, L. (2008). «Complex vegetation responses to soil disturbances in mountain grassland». *Plant Ecology*, 199, p. 77-88.
- SHAVER, G.R.; CANADELL, J.; CHAPIN III, F.S. [et. al.] (2000). «Global warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis». *BioScience*, 10, p. 871-882.
- SOMBROEK, W.G.; GOMMES, R. (1997). «L'énigme: changement de climat-agriculture». A: BAZZAZ, F.A.; SOMBROEK, W.G. [eds]. *Changements du climat et production agricole*. Roma i París: FAO, Polytechnica.
- TARDIF, J.; CAMARERO, J.J.; RIBAS, M.; GUTIÉRREZ, E. (2003). «Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: climatic and site influences». *Ecological Monographs*, vol. 73, 2, p. 241-257.
- TAULL, M.; SEBASTIÀ, M.T. (2002). «Estructura y productividad de diversas comunidades en el Pirineo Central según el tipo de pastoreo». Lleida: *Actas de la XLII de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, p. 183-188.
- TAULL, M.; CASALS, P.; SEBASTIÀ, M.T. (2004). «Valoración de los recursos pastorales de la comarca de la Alta Ribagorça (Pirineos Centrales, Catalunya): repercusión sobre el proceso de conversión a ganadería ecológica». *Actas de la XLIII de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, p. 757-761.
- TEIRA, M.R. (2008). *Informe per a la millora de la gestió dels purins porcíns a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de la Vicepresidència, CADS. (Informes, 5).
- UNGERFELD, E.M.; RUST, S.R.; BURNETT, R.J. [et. al.] (2005). «Effects of two lipids on in vitro ruminal methane production». *Animal Feed Science and Technology*, 119, p. 179-185.
- VILÀ, M.; SARDANS, J. (1999). «Plant competition in mediterranean-type vegetation». *Journal of Vegetation Science*, 10, p. 281-294.
- YOUNG, K.J.; LONG, S.P. (2000). «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Maize and Sorghum». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon (UK): CABI Publishing.
- ZINN, R.A. 1987. «Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle». *Journal of Animal Science*, 65, p. 256-266.

17. Energia

Joaquim Corominas

Joaquim Corominas (Barcelona, 1940), és doctor enginyer per la UPC i MSEE per la Universitat de Califòrnia, Berkeley. És un dels fundadors d'Ecotècnia i actualment director d'Ecoserveis —associació d'estudis i projectes sobre energia i medi ambient— així com investigador associat de l'ICTA de la UAB. Col·labora amb la Universidad del País Vasco, amb el projecte ConClima del Comité Español de la UICN i en diverses jornades. Fa consultoria en temes de sostenibilitat energètica. És coautor de *La Ruta de la Energía* i ha participat en els capítols energètics de l'informe sobre el canvi a Catalunya, de l'*Atles Comarcal del Baix Llobregat*, de l'*Atles Ambiental de l'Àrea de Barcelona*, i en el *Pla de millora energètica de Barcelona*. Ha coordinat i treballat en diversos projectes de la Unió Europea.

Resum i mots clau	765
Pròleg	767
17.1. Producció, importació i exportació d'energia a Catalunya	767
17.2. Consum energètic a Catalunya	774
17.3. Projeccions de la producció i del consum d'energia a Catalunya	775
17.4. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivats de l'energia	784
17.5. Influència directa del canvi climàtic en el sistema energètic de Catalunya	791
17.6. Influència indirecta del canvi climàtic en el sistema energètic de Catalunya	792
17.7. Mesures d'adaptació al canvi climàtic del sistema energètic de Catalunya	793
17.8. Mesures de mitigació del canvi climàtic del sistema energètic	794
17.9. Conclusions	798
Glossari	799
Abreviatures i sigles	800
Referències	800

Resum

El *Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015* preveia que el consum d'energia a Catalunya augmentés en totes les seves formes i sectors fins el 2010 i només es reduís el 2015 en alguns sectors i tipus d'energia. La revisió de 2009 del Pla de l'energia ha rebaixat significativament les previsions de consum de l'any 2015 en energia primària respecte al Pla original. Aquesta disminució es deu a la reducció de consum de fonts no renovables. El consum de fonts renovables es preveu per sota del previst al Pla original.

Les conseqüències principals de les previsions del *Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015*, i de la seva revisió de 2009, són que les emissions de GEH a Catalunya superaran l'assignació que correspondria a Catalunya, i que la magnitud i la proporció de cogeneració i de fonts renovables no compliran amb els compromisos del *Plan de Energías Renovables* vigent a l'Estat ni amb diverses directives de la UE. També provocarà una major dependència de subministrament extern amb els corresponents augments de les importacions energètiques.

L'augment previst de temperatura mitjana a Catalunya comportarà la pèrdua d'eficiència de molts equips energètics, un increment de la de-

manda de refrigeració que no compensarà la disminució de la demanda de calefacció i una pèrdua de la capacitat de transport de les línies elèctriques. L'emissió de calor de les instal·lacions de generació termoelèctrica comporta un increment de la temperatura de l'aire i del medi de refrigeració, increment que localment s'acumula a l'oportunat pel canvi climàtic.

Les mesures de mitigació necessàries per portar els paràmetres d'emissions, de consums i de proporció de fonts renovables als que correspondrien a Catalunya són importants i no es poden dur a terme amb petits gestos; calen grans polítiques integrades.

La introducció de vehicles elèctrics pot ser un mitjà per assolir els compromisos ambientals i energètics sempre que la generació elèctrica corresponent provingui de fonts renovables.

Mots clau

Consum d'energia, consum d'energia elèctrica, emissions de GEH, energia renovable, pla d'energia, política energètica, producció d'energia elèctrica, producció de combustibles, producció d'energia.

Pròleg

En el capítol sobre l'energia de l'*Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* de 2005 vam aportar una informació sobre el sistema energètic a Catalunya necessària per comprendre la relació del sector energètic amb el canvi climàtic a Catalunya, informació que en part no era disponible, o no ho era de manera fàcil. Aquest tipus d'informació no l'hem repetit en aquest informe perquè ja està publicada i perquè els canvis que ha experimentat a partir de llavors estan prou disponibles.

En aquest capítol del *Segon Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* actualitzarem la informació de l'informe de 2005 i la complementarem amb la nova que hi ha disponible. Hi hem afegit l'anàlisi dels principals impactes ocasionats per la refrigeració del cicle tèrmic de la generació d'energia elèctrica. Hem aprofundit els efectes que el canvi climàtic a Catalunya pot tenir previsiblement sobre el sistema elèctric. Hem mantingut la presentació de dades energètiques en les unitats (TEP i Wh) emprades en les estadístiques i els plans energètics, així com a l'Informe de 2005, per tal de facilitar-ne la comprensió, l'ús i la contrastació amb dades expressades en l'altra unitat. Hem mantingut les convencions vigents a la UE sobre les estadístiques energètiques, malgrat les discrepàncies existents respecte a l'assignació de l'energia primària en el cas de l'electricitat d'origen nuclear i d'origen renovable.

La part més nova és la corresponent a la comparació entre els valors d'emissions de GEH i dels consums d'energia previstos en el *Pla de l'energia de Catalunya 2010-2015* i els paràmetres establerts per les obligacions de diversos organismes sobre les emissions contaminants, els consums d'energia i la proporció de fonts renovables dels estats.

També hem introduït les principals indicacions de la UE sobre el procés d'adaptació del sistema energètic a les noves necessitats de reducció d'emissions i de consum de combustibles no renovables.

Finalment, ateses les recents notícies i actualitzacions relatives a la introducció de vehicles elèctrics, hem aportat algunes consideracions orientades a assegurar el bon ús energètic d'aquest vehicle.

Posteriorment al lliurament del treball a primers d'octubre de 2009, el Govern de la Generalitat va aprovar el 24 de novembre la revisió al Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015, el document del qual és disponible en versió electrònica pendent de correcció. La versió final d'aquest capítol ha incorporat els suggeriments dels revisors, incloent-hi la recomanació d'afegir les dades aportades per la revisió del Pla de l'energia de Catalunya.

Energia

Iniciem el tema a partir dels fluxos d'energia en la nostra societat, els originats en aquesta societat mateixa (producció) i els bescanviats amb altres (importació i exportació). D'aquesta manera podrem situar millor el nostre consum d'energia (punt 17.1.2). Després de saber què fem, cal conèixer les projeccions de la producció i del consum a Catalunya (punt 17.1.3). Amb tota aquesta informació podrem encarar el tema essencial de l'informe: les emissions ocasionades pel nostre sistema energètic (punt 17.1.4) i la influència del canvi climàtic en el sistema energètic de Catalunya (punts 17.1.5 i 17.1.6). Què podem fer per adaptar el nostre sistema energètic al canvi climàtic (punt 17.1.7) i què podem fer per mitigar el canvi climàtic (punt 17.1.8) condueixen a les conclusions (punt 17.1.9).

17.1. Producció, importació i exportació d'energia a Catalunya

Aquest punt s'organitza pels dos tipus principals d'energia que consumim: electricitat i combustibles. Comencem per l'electricitat perquè permetrà plantejar la major part de temes, la qual cosa facilitarà la comprensió de la resta del capítol.

La composició de les fonts primàries per generar electricitat a Catalunya ha variat significativament (taula 1) entre les dades de l'any 2003 i les dades de 2007, les més recents publicades. Alguns dels seus valors poden sorprendre. Sembla lògic que s'utilitzin menys derivats del petroli per generar electricitat (180,1 kTEP de FO i 18,1 kTEP de GO) i més gas natural (934 kTEP), però

Font	Consums d'energia per a la generació (ktep)		
	2007	2003	2007-2003
Carbó	190,0	142,2	47,8
FO	33,4	213,5	-180,1
GO	5,4	23,5	-18,1
Gas natural	2.780,2	1846,2	934,0
Nuclear	5.280,3	6419,8	-1.139,5
Gasos refinaria	18,9	17,6	1,3
Residus industrials no renovables	28,1	13,2	14,9
Total no renovables	8.336,3	8.676,0	-339,7
Producció bruta d'electricitat (GWh)	39.887,4	38.854,0	1.033,4
Gwh/ktep	4,8	4,5	0,3
Eficiència de la transformació (%)	41,1	38,5	2,6
Hidràulica	307,6	519,4	-211,8
Eòlica	42,8	14	28,8
Fotovoltaica	2,6	0,2	2,4
Biomassa	0,2	0,4	-0,2
Biogàs	32,1	17,3	14,8
RSU	130,1	147,7	-17,6
Total Renovables	515,4	699,0	-183,6
Electricitat generada (GWh)	4.560,5	6.596,7	-2.036,2
Gwh/ktep	8,8	9,4	-0,6
Eficiència de la transformació (%)	76,1	81,1	-5,1
Total	8.851,7	9.375,0	-523,3
Electricitat generada (GWh)	44.447,9	48.229,0	-3.781,1
Gwh/ktep	5,0	5,1	-0,1
Eficiència de la transformació (%)	43,2	44,2	-1,1

Taula 1. Diferència entre el consum de les fonts primàries emprades per generar electricitat a Catalunya el 2007 i el 2003, per tipus de font.¹

Font: Institut Català d'Energia.

sorpren la reducció del consum de l'energia nuclear. Això és degut al fet que la mateixa potència bruta nuclear el 2007 va generar 4.504 GWh menys que el 2003, un 17,75% menys que el 2003 (vegeu la figura 1). El total d'energia no renovable consumida per generar electricitat es va reduir en 339,7 kTEP entre 2003 i 2007, mentre que la producció bruta d'electricitat no renovable va augmentar en 1.033 GWh, la qual cosa reflecteix l'augment d'energia elèctrica per unitat de combustible emprat de 4,5 GWh/TEP el 2003 al 4,8 GWh/TEP el 2007. En termes d'eficiència de la transformació, del 38,5% en el 2003 augmenta al 41,1% en el 2007, principalment per la introducció dels cicles combinats.

Les fonts renovables perden generació bruta d'electricitat entre 2003 i 2007, i també l'eficiència global de la transformació, a causa de la

gran reducció de la hidràulica (211,8 GWh). En total, en el 2007 es generen 3.781 GWh d'electricitat menys que en el 2003. L'electricitat generada per kTEP i l'eficiència baixen lleugerament perquè la proporció de les fonts renovables ha passat de 13,7% el 2003 a 10,3% el 2007.

El més rellevant des de la perspectiva del canvi climàtic i del conjunt de normatives que se'n deriven és l'increment del consum de combustibles fòssils: de 2.256 kTEP en el 2003 es va incrementar el 35,45%, i s'arribava als 3.056 kTEP el 2007. Al mateix temps, la generació amb energia nuclear —molt menys emissora de GEH que els altres combustibles no renovables— s'ha reduït substancialment en un 17,75% en el mateix període 2003-2007. Aquest fet estaria relacionat amb l'envelliment de les centrals nuclears a Catalunya, ja que la reducció del factor de capacitat amb la corresponent producció elèctrica s'ha apreciat des de l'any 2001, en el qual va

1. 1 kTEP = 11,6297 GWh.

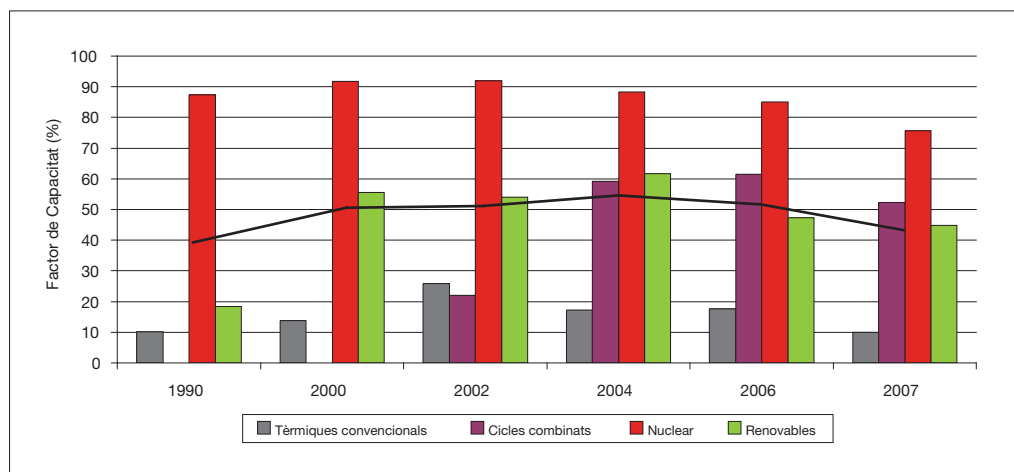


Figura 1. Factor de capacitat de les instal·lacions de generació elèctrica a Catalunya, per tipus d'instal·lació.
Font: Institut Català d'Energia.

assolir un màxim de 93,2, i la màxima producció de 25.657 GWh, i després ha anat baixant gradualment a un factor de capacitat de 75,7 el 2007 amb la generació de 20.871 GWh, valor que és un segon mínim de producció des de 1990 (figura 1). El mínim absolut es va produir l'any 2005 amb 20.676 GWh. La línia continua de la figura 1 indica el factor de capacitat del conjunt del sistema elèctric de Catalunya.

Cal destacar també el tímid increment de les fonts renovables en la generació elèctrica fins el 2007. La seva aportació del 16,75% de la pro-

ducció primària d'electricitat el 2004 (l'any d'aquest màxim) s'ha reduït a 14,3% el 2007. La producció de les fonts renovables arriba tot just a compensar les pèrdues del transport i distribució d'electricitat (figura 2). Un altre fet important és l'increment del saldo importador d'electricitat, el qual posa de manifest la major dependència de Catalunya en el seu abastament elèctric. Els valors dels intercanvis també mostren que no calen més infraestructures de transport d'electricitat per assolir els valors recomanats per la Comissió Europea.

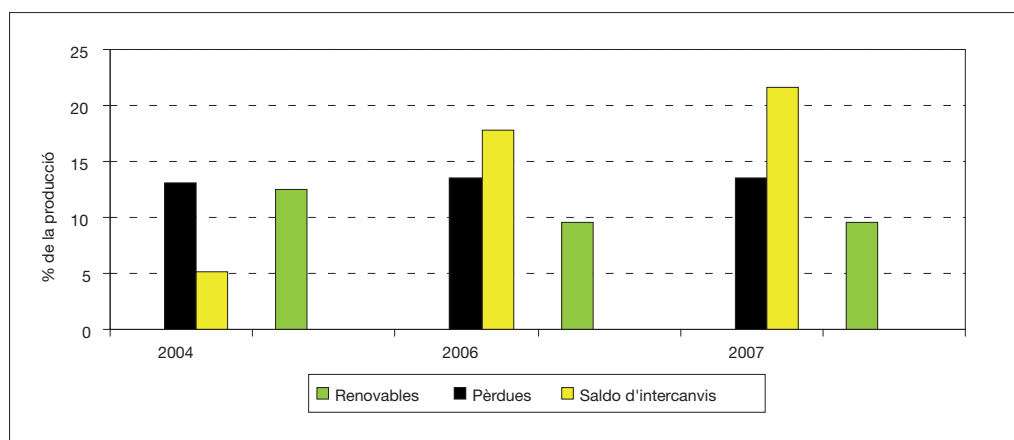


Figura 2. Comparació entre l'aportació de les fonts renovables en la generació d'electricitat, les pèrdues del sistema elèctric i el saldo dels intercanvis importadors a Catalunya, en percentatge del total de la producció elèctrica a Catalunya.
Font: Institut Català d'Energia.

La figura 3 mostra la relació entre la producció bruta i el consum d'electricitat a Catalunya, juntament amb el valor del saldo dels intercanvis importadors i de les pèrdues de transport i distribució.

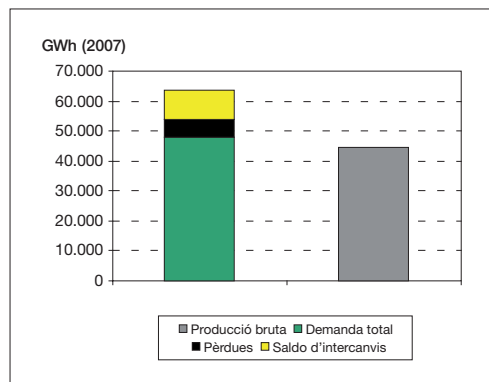


Figura 3. Comparació entre la producció bruta d'electricitat a Catalunya, la demanda, les pèrdues del sistema elèctric i el saldo dels intercanvis a Catalunya, en valors absoluts.
Font: Institut Català d'Energia.

La composició de les fonts renovables en la generació elèctrica de la figura 4 mostra el predomini de la hidràulica en el règim ordinari, la baixa aportació de la hidràulica en règim espe-

cial², de l'eòlica i fotovoltaica, i el creixent pes de les altres fonts integrades pels combustibles dels residus sòlids urbans, biogàs i biomassa agrària, animal i forestal. Aquestes altres fonts poden tenir un gran valor per al manteniment de l'activitat agrària i rural o per al tractament dels residus, però, tant des de paràmetres energètics com del canvi climàtic, són les que resulten ser menys interessants. Per una banda tenen un menor rendiment energètic degut a les necessàries manipulacions de la primera matèria (residus, biomassa), i per una altra, produeixen una menor reducció de GEH per energia elèctrica aportada a la xarxa. Això no vol dir que no s'hagin d'aprofitar residus i biomassa per generar electricitat, és simplement un aspecte a tenir present en l'anàlisi de l'aportació de les fonts renovables actuals a Catalunya.

La potència de generació elèctrica de 2.825 MW amb fonts renovables (taula 2) equival a 26% de la potència total de generació elèctrica instal·lada a Catalunya (figura 5). Com que les fonts renovables no estan disponibles totes les hores de l'any, o no amb la seva màxima intensitat, la producció d'energia elèctrica de 4.561 GWh només representa el 10,3% de la total

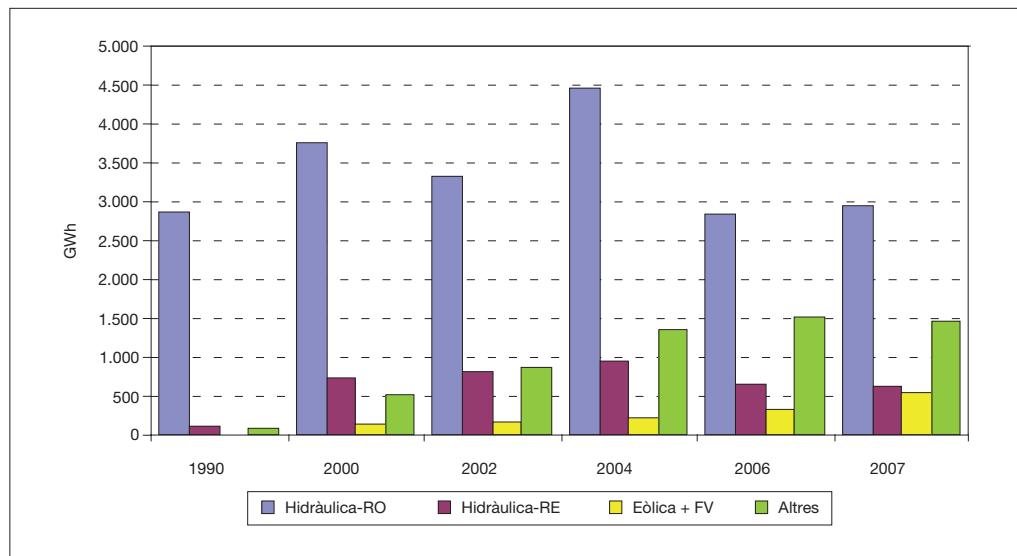


Figura 4. Producció elèctrica per tipus de font renovable a Catalunya (RO: règim ordinari; RE: règim especial; FV: fotovoltaica).
Font: Institut Català d'Energia.

2. El règim especial cobreix la generació d'electricitat amb menys impacte ambiental, per la qual cosa mereix una retribució superior a la del mercat. Es regula en els articles 21 a 26 de la Llei 54/1997 de 27 de novembre del sector elèctric.

Font	Potència bruta (MW)	Producció anual bruta (GWh)	Consum anual per a la generació (GWh)
Renovable	2.825,2	4.560,5	5.992,5
Hidràulica	2.360,4	3.576,4	3.576,4
Biomassa + Metanització	88,0	456,4	1.888,4
Eòlica + Fotovoltaica	376,8	527,7	527,7
No renovable	8.122,3	39.887,5	96.932,5
Carbó	160,0	772,8	2.209,3
Nuclear	3.146,9	20.870,6	61.398,8
Fuel-gasoil-gas	1.234,1	436,2	n.d.
Cicles combinats	2.459,9	11.271,0	n.d.
Cogeneració	975,5	5.483,4	n.d.
Altres	145,9	117,7	n.d.
Total	10.948	44.448	102.925

Taula 2. Potència de generació instal·lada, producció bruta d'electricitat i consum d'energia per a la generació d'electricitat, per font, a Catalunya (2007).
Font: Institut Català d'Energia.

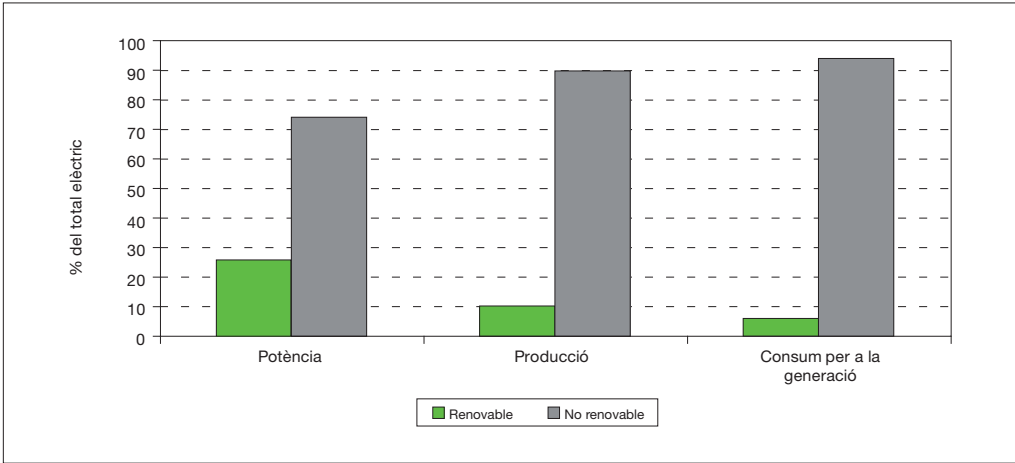


Figura 5. Proporció de fonts renovables i no renovables respecte al total de la generació elèctrica a Catalunya (2007).
Font: Institut Català d'Energia.

(menys del 26% de la potència). El poc consum d'energia necessari per al funcionament propi del conjunt d'instal·lacions amb fonts renovables i l'alt rendiment de la generació hidroelèctrica són la causa que el consum d'energia per a la generació elèctrica renovable (5,8% del total) sigui proporcionalment menor que la generació amb fonts no renovables (94,2% del total). Per generar 1 MWh elèctric amb la composició de 2007 del parc de generació amb fonts renovables va caldre disposar només de 619 W de potència instal·lada de generació i consumir 1,3 MWh d'energia (taula 3), mentre que per generar 1 MWh elèctric amb les fonts no renovables de 2007

només van caldre 204 W instal·lats, però consumint 2,4 MWh d'energia en combustibles.

La taula 3 mostra l'eficiència, en termes d'energia consumida per energia elèctrica generada, de cada una de les principals fonts i tecnologies. És evident que tota transformació d'una forma d'energia a una altra té un rendiment menor al 100%, és a dir, obtenim menys energia nova de la que hem aportat inicialment. Aquest és el paràmetre d'interès comptable en el present informe. Si l'anàlisi tingués un àmbit global, s'hauria de considerar un altre paràmetre, conegut amb les sigles angleses EROI (*energy return of the investment*), o retorn de la inversió d'energia, és a dir, quanta

Font	Hores equivalents/any	W/MWh-any	Consum/Producció
Renovable	1.614	619	1,3
Hidràulica	1.515		
Biomassa + Metanització	5.186		
Eòlica + Fotovoltaica	1.400		
No renovable	4.911	204	2,4
Carbó	4.830		
Nuclear	6.632		
Fuel-gasoil-gas	353		
Cicles combinats	4.582		
Cogeneració	5.621		
Altres	807		
Total	4.060	246	2,3

Taula 3. Relació entre l'energia consumida i l'energia elèctrica generada per tipus de font i tecnologia, la potència necessària per generar un MWh d'energia elèctrica a l'any, i les hores equivalents de les instal·lacions de generació elèctrica a Catalunya (2007).

Font: Institut Català d'Energia.

energia final proporcionarà un conjunt font-equipos determinat, al llarg de la vida útil de la instal·lació transformadora d'energia, en relació amb tota l'energia que s'ha emprat al llarg del cicle del combustible i de la instal·lació. Si la relació és igual a la unitat, el sistema haurà proporcionat tanta energia com ell mateix ha gastat. Si la relació és menor a la unitat, el sistema gasta més energia que la que proporciona. I si la relació és més gran que la unitat, el sistema proporciona més energia que la que consumeix. Interessa emprar sistemes que tinguin un EROI al més elevat possible.

La generació hidràulica, eòlica i fotovoltaica tenen uns consums d'energia insignificants respecte a l'energia elèctrica generada. Els cicles combinats de gas natural i la cogeneració generen poc més de la meitat de l'energia que han consumit, mentre que les centrals de carbó i nuclears en generen poc més d'una tercera part. Gran part de l'energia perduda es transfereix a l'entorn pel sistema de refrigeració en forma de calor sensible als rius o al mar, i de calor latent a l'atmosfera per les torres de refrigeració. La generació bruta d'electricitat no renovable a Catalunya de 39.887 GWh el 2007 dintre del règim ordinari va produir, segons estimacions pròpies, unes emissions tèrmiques de 49.363 GWh equivalents a 4.245 kTEP. Aquesta energia hauria incrementat la temperatura de 47.389 °C·hm³ en cas de refrigeració de les centrals per aigua (de riu o de mar) o evaporat 76 hm³ d'aigua en cas d'emprar torres de refrigeració. Aquests efectes locals poden accentuar els impactes del canvi climàtic a Catalunya: poden incre-

mentar la temperatura d'alguns trams de rius, d'embassaments o del mar, evaporar aigua dels rius, o incrementar la temperatura i la humitat ambiental a nivells del sol en les conegudes com a illes tèrmiques o de calor.

La combustió d'hidrocarburs (gas natural, gasos líquids del petroli, gasolina, gasoil, fuel, querosè i coc del petroli) —i en molt menor mesura, el carbó— a causa de l'hidrogen que contenen aquests combustibles produeix vapor d'aigua, el qual és emès a l'atmosfera. Segons estimacions pròpies, els 11.836 kTEP de combustibles fòssils consumits a Catalunya el 2007 van emetre a l'atmosfera unes 188.000 tones de vapor d'aigua, les quals van contribuir a incrementar la temperatura i la humitat ambientals.

La generació elèctrica amb biomassa i amb el biogàs de la metanització només produeix una quarta part de l'energia que ha consumit. Com ja hem dit, això és degut a les manipulacions de les primeres matèries i als processos de les seves transformacions, a més de les pèrdues ja citades degudes a la combustió dels combustibles.

Les hores equivalents (taula 3) és un paràmetre pràctic molt usual en el sector elèctric. Són el nombre d'hores que una instal·lació de generació elèctrica d'una potència determinada hauria d'estar generant energia elèctrica amb aquesta potència per generar exactament la mateixa energia elèctrica que ha generat al llarg de tot l'any. Com que no és possible que una instal·lació produeixi durant tot el temps la potència màxima, les hores equivalents sempre són menors de les 8.760 de l'any.

Iniciem ara el tema dels combustibles. La producció d'energia primària en forma de combustible a Catalunya l'any 2007 va ser de 620 kTEP (taula 4). La producció renovable i la no renovable són pràcticament iguals. La producció de petroli encapçala el rang , seguida de prop pels residus renovables.

Malgrat que la producció total de combustibles a Catalunya és molt baixa i decreixent, és interessant observar la tendència decreixent de la producció no renovable entre l'any 2000 i el 2007 (taula 5), mentre que la producció renovable augmenta. Malgrat l'increment renovable, el combustible total produït el 2007 és menor que el del 2000.

Font	ktep	GWh	Percentatge del total
Renovables	341,7	3.973,3	55,1
Biomassa agrícola, animal i forestal	93,7	1.089,5	15,1
Residus	134,3	1.561,6	21,7
Biogàs	40,8	474,4	6,6
Biocarburants	72,9	847,7	11,8
No renovables	278,4	3.237,2	44,9
Petroli	140,2	1.630,2	22,6
Carbó	65,4	760,5	10,5
Gas natural	1,4	16,3	0,2
Residus industrials	71,4	830,2	11,5
Total	620,1	7.210,5	100,0

Taula 4. Producció primària de combustibles a Catalunya (2007).
Font: Institut Català d'Energia.

Font	ktep	GWh
Renovables	131	1.523,3
Biomassa agrícola, animal i forestal	7,6	88,4
Residus	11,6	134,9
Biogàs	38,9	452,3
Biocarburants	72,9	847,7
No renovables	-124,5	-1.447,7
Petroli	-77,4	-900,0
Carbó	-46,4	-539,5
Gas natural	-0,7	-8,1
Residus industrials	37,2	432,6
Total	6,5	75,6

Taula 5. Diferència entre la producció de combustibles a Catalunya l'any 2007 i el 2000.
Font: Institut Català d'Energia, Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya.

Combustible	Producció bruta		Importació (saldo)		
	ktep	GWh	ktep	GWh	% del consum
Carbó	65	760	239	2.774	79
Petroli	140	1.630	11.369	132.195	88
Gas natural	1	16	6.681	77.688	100
Residus industrials	71	830	0	0	0
Biomassa	342	3.973	29	333	8
Nuclear	0	0	5.280	61.399	100
Total	620	7.210	23.598	212.991	88

Taula 6. Comparació entre la producció pròpia bruta i el saldo de les importacions de combustibles a Catalunya (2007).
Font: Institut Català d'Energia.

A causa de la poca producció de combustibles a Catalunya, cal importar-ne unes 38 vegades la producció pròpia, o el 88% del seu consum. La biomassa és el combustible més autònom (92% del consum), mentre que de gas natural i de combustible nuclear se n'importa tot el consum.

17.2. Consum energètic a Catalunya

Distingirem el consum d'energia primària (directament extreta de la natura, sense transformar) de l'anomenada energia final (transformada a partir de la primària per tal de facilitar-ne l'ús i el transport). Sempre es consumeix més energia primària que final. La relació entre aquests consums determina l'eficiència de l'ús de les fonts primàries.

El consum d'energia primària a Catalunya el 2007 va ser de 26.840 kTEP (taula 7). L'energia renovable va representar el 2,7% del total de l'energia primària consumida a Catalunya, amb un domini de la hidràulica, amb un 1,71%.

El consum d'energia final a Catalunya l'any 2007 de 16.173 kTEP va consistir en un 3,8% de fonts renovables i la resta de 96,2% de fonts fòssils i nuclear, amb predomini del gasoil amb el 31% del consum total d'energia final (taula 8). Més del 96% correspon a fonts no renovables, incloent en aquesta categoria l'energia elèctrica importada. Predomina l'ús de gasoil (degut al transport) seguit per l'energia elèctrica no renovable i pel gas natural.

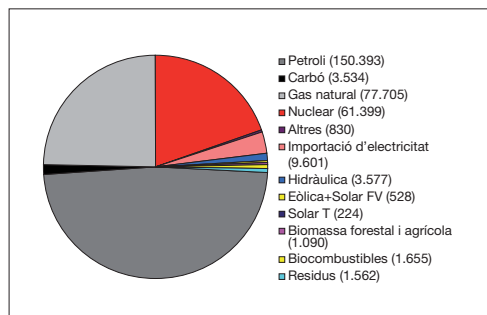


Figura 6. Distribució del consum d'energia primària a Catalunya (2007).

Font: Institut Català d'Energia.

El 75% del consum d'energia final és en forma combustibles, amb molt predomini dels líquids (taula 9). L'energia elèctrica ocupa un segon lloc seguit de prop pels combustibles gasosos (gas natural i gasos líquids de petroli o GLP). L'ús de la calor produïda amb energia solar és molt baix.

El sector més consumidor d'energia final és el de transport, amb gairebé el 40% del total de l'energia final. La indústria el segueix amb el 31,6%. El sector primari només consumeix un 3,5% de l'energia final a Catalunya (taula 10).

La taula 11 conté les dades del consum final d'energia a Catalunya l'any 2003 (el darrer amb dades publicades en aquest detall) desglossades per sector i per tipus d'energia.

Font	ktep	GWh	% del total
Carbó	304	3.534	1,13
Petroli	12.934	150.393	48,19
Importació d'electricitat	826	9.601	3,08
Gas natural	6.683	77.705	24,90
Altres	71	830	0,27
Nuclear	5.280	61.399	19,67
Total no renovable	26.098	303.461	97,23
Solar tèrmica	19	224	0,07
Hidràulica	308	3.577	1,15
Eòlica	43	498	0,16
Solar FV	3	30	0,01
Biomassa forestal i agrícola	94	1.090	0,35
Residus	134	1.562	0,50
Biogàs	41	474	0,15
Biocombustibles	102	1.180	0,38
Total renovable	743	8.635	2,77
Total	26.840	312.096	100

Taula 7. Consum d'energia primària a Catalunya (2007).

Font: Institut Català d'Energia.

Font	ktep	GWh	%
No renovable	15.554	180.860	96,2
Carbó	107	1.238	0,66
Coc de petroli	611	7.102	3,78
Fuel-oil	146	1.697	0,90
Gas-oil	5.017	58.336	31,02
Querosè	999	11.617	6,18
Gasolina	1.156	13.447	7,15
GLP	269	3.133	1,67
Gas natural	3.531	41.063	21,83
Energia elèctrica	3.674	42.724	22,72
Residus industrials	43	503	0,27
Renovable	619	7.201	3,8
Energia elèctrica	392	4.561	2,42
Biomassa	208	2.416	1,28
Solar tèrmica	19	224	0,12
Total	16.173	188.062	100,0

Taula 8. Distribució del consum d'energia final, per fonts, a Catalunya, el 2007.
Font: Institut Català d'Energia.

Tipus	ktep	GWh	%
Combustibles	12.088	140.553	74,7
Sòlids	717	8.341	4
Líquids	7.420	86.277	46
Gasosos	3.810	44.296	24
Residus	141	1.640	0,9
Energia elèctrica	4.067	47.285	25,1
Calor	19	224	0,1
Total	16.173	188.063	100

Taula 9. Distribució del consum d'energia final, per tipus, a Catalunya, el 2007.
Font: Institut Català d'Energia.

Sector	ktep	GWh	%
Transport	6.458	75.096	39,9
Indústria	5.114	59.466	31,6
Domèstic	2.260	26.280	14,0
Serveis	1.770	20.576	10,9
Primari	572	6.645	3,5
Total	16.174	188.064	100,0

Taula 10. Distribució del consum d'energia final, per sectors, a Catalunya, el 2007.
Font: Institut Català d'Energia.

17.3. Projeccions de la producció i del consum d'energia a Catalunya

En aquest apartat ens vam basar en primer lloc i principalment en les dades del vigent Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015 (PEC 2006-2015) del Departament de Treball i Indústria de la Generalitat de Catalunya. Amb la disponibilitat de

la Revisió 2009 del Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015, del Departament d'Economia i Finances, hem incorporat les noves dades i modificat les corresponents informacions.

En la mesura del possible, hem relacionat les projeccions amb els requeriments i compromisos derivats de la situació politicoadministrativa de Catalunya en relació amb l'Estat i a la UE i, finalment, amb els compromisos de Kyoto. Atesa la diversitat d'àmbits temporals entre les diverses fonts de compromisos, en alguns casos hem interpolat linealment les dades pel tal d'aproximar-nos a un àmbit comú més comparable.

El PEC 2006-2015 (en la versió original i en la revisada) ha emprat dos escenaris: el base, de caràcter continuista (o BAU-business as usual) i l'intensiu en eficiència i en l'ús de fonts renovables (IER). Si bé ha considerat una perspectiva temporal fins a l'any 2030, les previsions ener-

Tipus d'energia	Indústria	Domèstic	Primari	Serveis	Transport	Subtotal	% del total
Carbó	24,9	0,5	0,0	1,0	0,0	26	0,17
Coc de petroli	748,1	4,0	2,5	0,7	0,0	755	4,96
Fuel	282,2	0,0	0,0	9,2	0,0	291	1,91
Gasoil	109,6	156,2	520,1	98,6	3.506,7	4.391	28,82
Querosè	0,0	0,2	0,0	0,0	741,2	741	4,87
Benzina	0,0	0,0	0,0	0,0	1.402,1	1.402	9,20
GLP	34,3	181,3	15,1	69,5	1,8	302	1,98
Gas natural	2.287,8	842,2	9,8	358,5	3,4	3.502	22,98
Electricitat	1.637,8	798,1	35,8	1.120,5	63,6	3.656	23,99
Residus no renovables	42,8	0,0	0,0	0,0	0,0	43	0,28
Biomassa forestal i agrícola	43,0	39,9	1,8	8,8	0,0	94	0,61
Biogàs	4,0	0,0	0,8	0,6	0,0	5	0,04
Solar tèrmica	0,1	2,1	0,0	0,5	0,0	3	0,02
Residus renovables	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
Bioetanol	0	0,0	0,0	0,0	19,9	20	0,13
Biodièsel	0	0,0	0,0	0,0	5,4	5	0,04
Total sector	5.214,6	2.024,5	585,9	1.667,9	5.744,1	15.237	
% del total	34,2	13,3	3,8	10,9	37,7	100,0	

Taula 11. Distribució del consum d'energia final, per sectors i tipus d'energia, a Catalunya en kTEP el 2003.

Font: Institut Català d'Energia.

gètiques es concreten en els anys 2010 i 2015. La taula 12 recull els valors previstos per al consum d'energia final per sector, en cada un dels escenaris i dates del pla. El consum final d'energia del 2015 a l'escenari IER és molt poc superior al de 2010 a conseqüència de la introducció de les mesures d'estalvi i d'eficiència.

La figura 7 mostra gràficament les dades de la taula 12.

La diferència de les previsions dels consums entre els escenaris base i IER són baixes el 2010 i tres vegades superiors el 2015, i reflecteixen les

inèrcies en la introducció de canvis significatius en l'àmbit energètic. El PEC revisat incrementa la diferència entre els dos escenaris en tots els sectors, excepte en la indústria, que la rebaixa lleugerament (taula 13).

L'augment de consum d'energia final entre el real del 2007 i el previst per al 2010 representa el 13,5% del consum de 2007 en l'escenari base i el 9,2% en l'escenari IER del PEC 2006-2015, o traduït a increments lineals per any, 4,5% i 3%, respectivament (taula 14). Comparant-ho amb les previsions per al 2015, els increments lineals

Sector	Escenari base			Escenari IER		
	2010	2015		2010	2015	
	PEC original	PEC original	PEC revisat	PEC original	PEC original	PEC revisat
Indústria	5.906	6.497	4.991	5.664	5.802	4.363
Domèstic	2.716	3.037	2.874	2.569	2.731	2.452
Primari	639	675	560	618	631	490
Serveis	2.340	2.693	2.364	2.240	2.439	1.985
Transport	6.751	7.203	6.792	6.567	6.365	5.808
Total	18.351	20.105	17.581	17.658	17.968	15.098

Taula 12. Previsions del consum d'energia final per sector, en els dos escenaris i en les dues dates considerades en el PEC 2006-2015 i la seva revisió de 2009 (kTEP).

Font: Departament de Treball i Indústria, i Departament d'Economia i Finances. Generalitat de Catalunya.

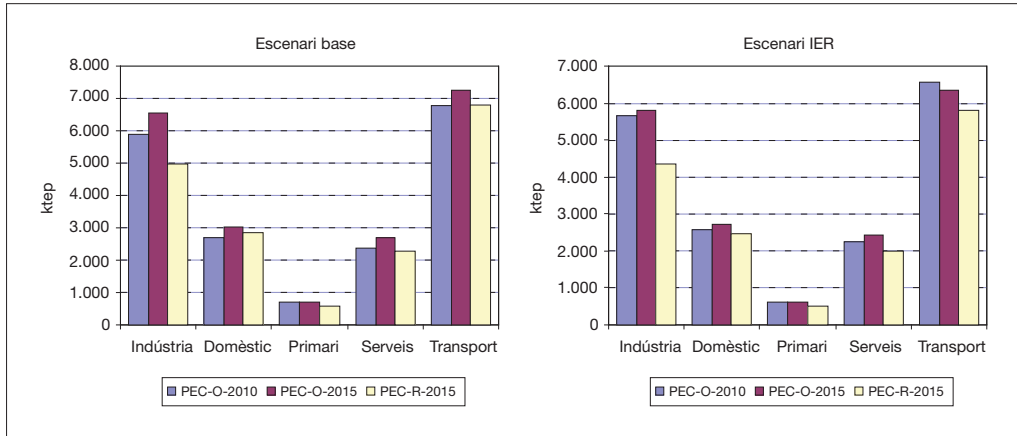


Figura 7. Previsions del consum d'energia final per sector, en els dos escenaris i en les dues dates considerades en el PEC 2006-2015 i la seva revisió de 2009 (kTEP).

Font: Departament de Treball i Indústria, i Departament d'Economia i Finances. Generalitat de Catalunya.

Sector	Diferència entre escenaris (base-IER)		
	2010	2015	
	PEC original	PEC original	PEC revisat
Indústria	242	695	628
Domèstic	147	307	422
Primari	21	44	70
Serveis	100	254	380
Transport	184	838	984
Total	693	2.138	2.484

Taula 13. Diferència entre les previsions del consum d'energia final, per sector, entre els dos escenaris i en les dues dates considerades en el PEC 2006-2015 (kTEP).

Font: Departament de Treball i Indústria, i Departament d'Economia i Finances. Generalitat de Catalunya.

Sector	Escenari base	Escenari IER	Consum real
	2010	2010	2007
Indústria	5.906	5.664	5.114
Domèstic	2.716	2.569	2.260
Primari	639	618	572
Serveis	2.340	2.240	1.770
Transport	6.751	6.567	6.458
Total	18.351	17.658	16.174

Taula 14. Diferència entre les previsions del consum d'energia final el 2010 per sector en els dos escenaris considerats en el PEC 2006-2015 i el consum real en el 2007 (kTEP).

Font: Departament de Treball i Indústria. Generalitat de Catalunya.

per any són de 3% i 1,4% en l'escenari base i IER, respectivament. La revisió del PEC 2006-2015 de 2009 no estima els consums del 2010.

En el Pla de l'energia original, el consum total d'energia primària segons les previsions de l'escenari base creix el 2010 respecte al 2003 i el 2015 respecte al 2010, amb valors molt superiors en les fonts no renovables que en les renovables (taula 15). Les previsions de l'escenari IER per al 2010 són inferiors a les de l'escenari base per al consum total i per al de fonts no renovables, però són superiors en fonts renovables. Les previsions de l'escenari IER per al 2015 mostren un descens en el consum de les fonts no renovables i un increment de les fonts renovables més elevat que a l'escenari base.

La revisió de 2009 del Pla de l'energia preveu a l'escenari base per al 2015 consums inferiors a l'original tant per al total d'energia com per al conjunt de fonts renovables i no renovables. De les no renovables només s'incrementa el consum de carbó (de 16 a 165,5 kTEP). El saldo d'intercanvis elèctrics de 253 kTEP importadors en la versió original base del Pla de l'energia, passa a 176 kTEP exportadors en la revisió de 2009. El conjunt de renovables es redueix en 100 kTEP, bàsicament pels biocarburants, els quals afecten el sector que té més dificultats per reduir les seves emissions de GEH. De la resta de fonts renovables, només augmenten la solar i els residus renovables, mentre que la resta de fonts disminueix lleugerament.

Font	Referència	Escenari base			Escenari IER		
	2003	2010	2015		2010	2015	
		PEC-O	PEC-O	PEC-R	PEC-O	PEC-O	PEC-R
No renovable	25.004	29.698	32.221	29.076	28.270	28.012	24.291
Carbó	179	201	16	166	200	14	130,5
Petroli	12.578	14.034	14.467	13391	13.535	12.657	11702,9
Gas natural	5.435	8.705	11.008	9222	8.409	9.006	6.203,5
Nuclear	6.420	6.369	6.369	6369	6.369	6.369	6369,2
Saldo intercanvis elèctrics	330	312	253	-176	-319	-143	-180,6
Residus no renovables	61	77	108	104	77	108	65,3
Renovable	815	1.326	1.403	1.304	2.082	2.949	2.703
Solar	3	18	30	53	68	108	358,8
Eòlica	14	221	263	260	642	758	698,4
Hidràulica	519	482	493	470	485	528	504,3
Biomassa forestal i agrícola	86	127	137	124	181	307	306,6
Residus renovables	148	147	147	157	167	199	187,7
Biogàs	20	117	120	119	163	206	205,6
Biocarbursants	25	214	213	122	378	844	441,8
Total	25.819	31.024	33.624	30.380	30.352	30.961	26.994

Taula 15. Consum d'energia primària de 2003 i previsions dels consums a 2010 i 2015 per tipus d'energia en cada un dels escenaris considerats al PEC 2006-2015 i en la seva revisió de 2009 (kTEP).

Font: Departament de Treball i Indústria i Departament d'Economia i Finances. Generalitat de Catalunya.

Els comentaris respecte a l'escenari IER serien similars als fets per a l'escenari base, excepte en els valors numèrics. No deixa de sorprendre que l'aportació de les fonts renovables en aquest escenari se situï 246 kTEP per sota del previst en la versió original del Pla de l'energia quan l'entorn europeu i mundial pressiona per incrementar en valors absoluts la seva participació creixent.

El consum d'energia primària nuclear es manté constant entre 2010 i 2015 en els dos escenaris

(tant en el Pla original com en la revisió de 2009), i només 51 kTEP per sota del valor de 2003. Això sorprèn perquè, com ja ho hem apuntat, la generació d'electricitat nuclear ha anat decreixent des de l'any 2001 (figura 1) i consumint energia primària per sota dels valors previstos en el PEC 2006-2015 amb un valor de 1.089 kTEP l'any 2007 equivalent al 17% del consum previst.

La figura 8 mostra els consums totals de la taula 15, i la figura 9, les diferències entre els

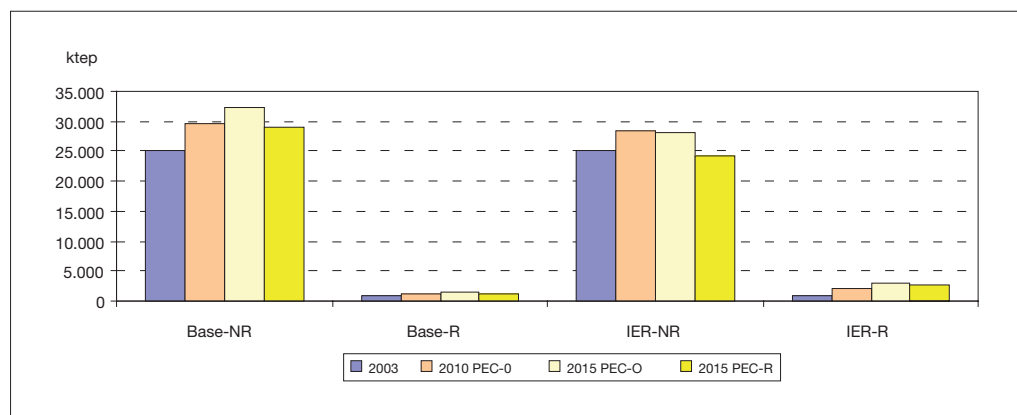


Figura 8. Consum d'energia primària el 2003 i previsions per al 2010 i el 2015 en cada un dels escenaris, del conjunt de fonts no renovables (NR) i renovables (R) del Pla de l'energia original i la seva revisió de 2009 (kTEP).

Font: Departament de Treball i Indústria i Departament d'Economia i Finances. Generalitat de Catalunya

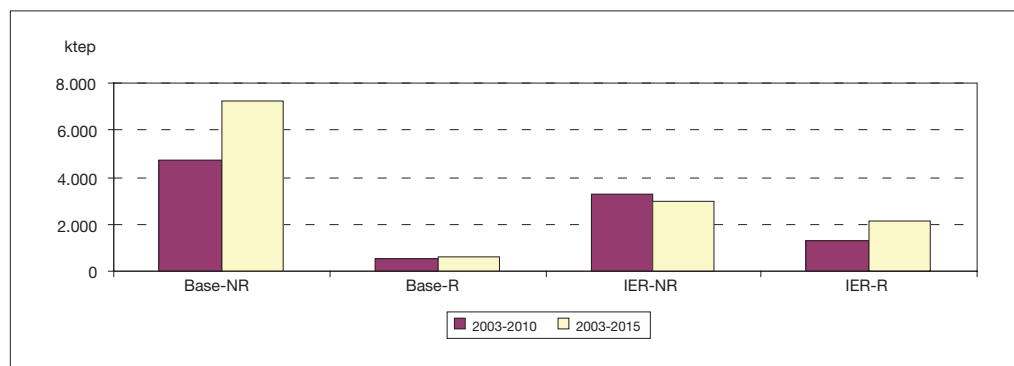


Figura 9. Diferència de les previsions de consum d'energia primària de cada escenari el 2010 i el 2015 i el consum de referència de 2003, per conjunt de fonts no renovables (NR) i renovables (R) (ktep).

Font: Departament de Treball i Indústria. Generalitat de Catalunya

consums previstos en els dos escenaris i en l'any de referència, el 2003.

L'augment del consum previst a l'escenari base del Pla original en el període 2003-2010 de 511 kTEP per a les fonts renovables és molt baix i molt menor que per a les fonts no renovables de 4.569 kTEP (taula 15 i figura 9). L'escenari IER preveu un increment del consum de fonts primàries no renovables en el mateix període de 3.226 kTEP, força menor que l'escenari base, fruit de l'estalvi i de l'eficiència. Les fonts renovables en aquest escenari IER augmenten més entre 2003 i 2010 (1.267 kTEP, o 181 kTEP/any) que entre

2010 i 2015 (867 kTEP, o 173 kTEP/any). Una possible explicació podria ser una possible saturació del potencial pràctic estimat per a aquestes fonts, explicació que no compartim.

El 2003 la producció d'energia primària renovable a Catalunya va ser de 806 kTEP (taula 16), equivalent a l'11% del total d'energia primària produïda a Catalunya. Les previsions de la producció d'energia primària i dels saldos importadors-exportadors només figuren en el Pla de l'energia de Catalunya original (punt 17.4.4.8), però no en la revisió del pla de 2009³. Per aquest motiu no s'han pres en consideració ara. Les pre-

Font	Referència		Escenari base		Escenari IER	
	2003		2010	2015	2010	2015
No renovables	6.866		6.512	6.504	6.512	6.504
Carbó	75		66	27	66	27
Petroli	313		0	0	0	0
Gas natural	2		0	0	0	0
Nuclear	6.420		6.369	6.369	6.369	6.369
Residus no renovables	56		77	108	77	108
Renovable	806		1.276	1.373	1.958	2.538
Solar	3		18	30	68	108
Eòlica	14		221	283	642	758
Hidràulica	519		482	493	485	528
Biomassa forestal i agrícola	94		127	137	181	307
Residus renovables	148		147	147	167	199
Biogàs	23		117	120	163	206
Biocarburants	5		163	163	253	433
Total	7.672		7.787	7.877	8.469	9.042

Taula 16. Producció d'energia primària de 2003 i previsions a 2010 i 2015 per tipus d'energia en cada un dels escenaris considerats al Pla de l'energia de Catalunya (ktep).

Font: Departament de Treball i Indústria. Generalitat de Catalunya.

3. La constatació de la manca de dades energètiques suficients ja va ser exposada a l'informe AMEEC de Jesús Ramos el 2007.

visions de l'escenari base augmenten la proporció de les fonts renovables en la producció d'energia primària a 16% i 17% els anys 2010 i 2015 respectivament. Les previsions de l'escenari IER són de 23% i 28% respectivament, amb valors absoluts de 1.958 kTEP i de 2.538 kTEP.

El saldo importador creix, respecte a l'any 2003 de referència, en tots dos escenaris i períodes, i disminueix alhora la cobertura local del consum d'energia primària del 30% l'any 2003 al 25% l'any 2010 i al 23% el 2015 en l'escenari base, o al 28% i 29% en l'escenari IER els anys 2010 i 2015, respectivament. Aquestes dades

mostren la gran dependència exterior en energia primària, i de les fonts no renovables que emeten GEH (taula 17).

La figura 10 mostra les previsions per al 2015 de generació d'electricitat segons l'escenari (base i IER), del Pla d'energia de Catalunya 2006-2015 (PEC) i de la revisió de 2009, pels seus totals i el detall de fonts renovables i no renovables. La revisió de 2009 redueix tots aquests valors del PEC.

La figura 11 mostra les previsions per al 2015 dels factors de capacitat en la generació d'electricitat segons l'escenari (base i IER), del Pla

Font	Referència	Escenari base		Escenari IER	
	2003	2010	2015	2010	2015
No renovables	18.262	23.186	25.717	21.758	21.508
Carbó	93	135	-11	134	-13
Petrolí	12.158	14.034	14.467	13.535	12.657
Gas natural	5.674	8.705	11.008	8.409	9.006
Saldo intercanvis elèctrics	337	312	253	-319	-143
Renovable	20	51	50	125	411
Biocarburants	20	51	50	125	411
Total	18.282	23.237	25.767	21.883	21.919

Taula 17. Saldo importador (+) i exportador (-) d'energia primària de 2003 i previsions a 2010 i 2015 per tipus d'energia en cada un dels escenaris considerats al Pla d'energia de Catalunya (kTEP).

Font: Departament de Treball i Indústria. Generalitat de Catalunya.

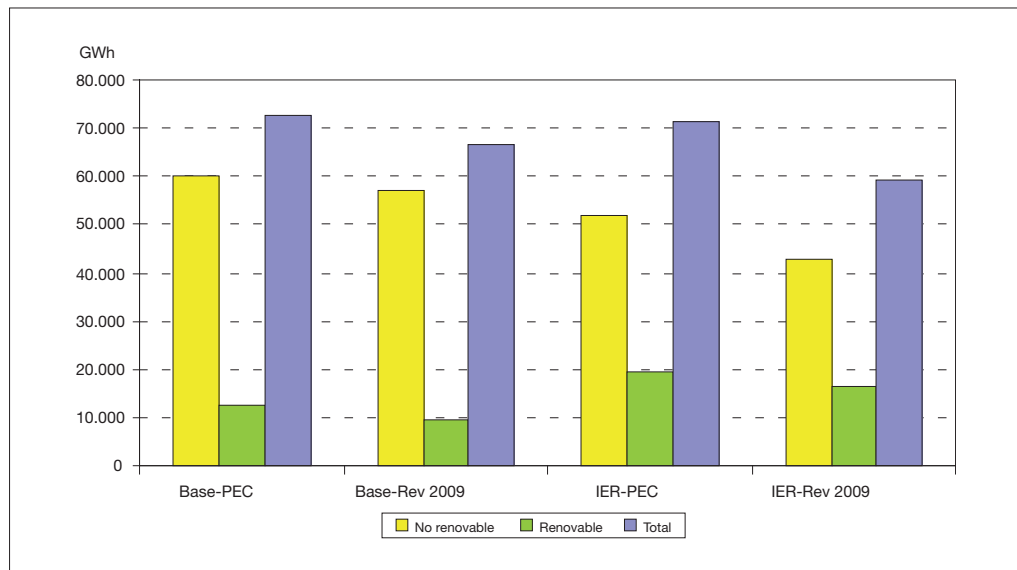


Figura 10. Previsions de la generació d'electricitat al 2015 segons el tipus d'energia emprada i l'escenari, en el Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, i en la revisió del 2009.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament de Treball i Indústria, i Departament d'Economia.

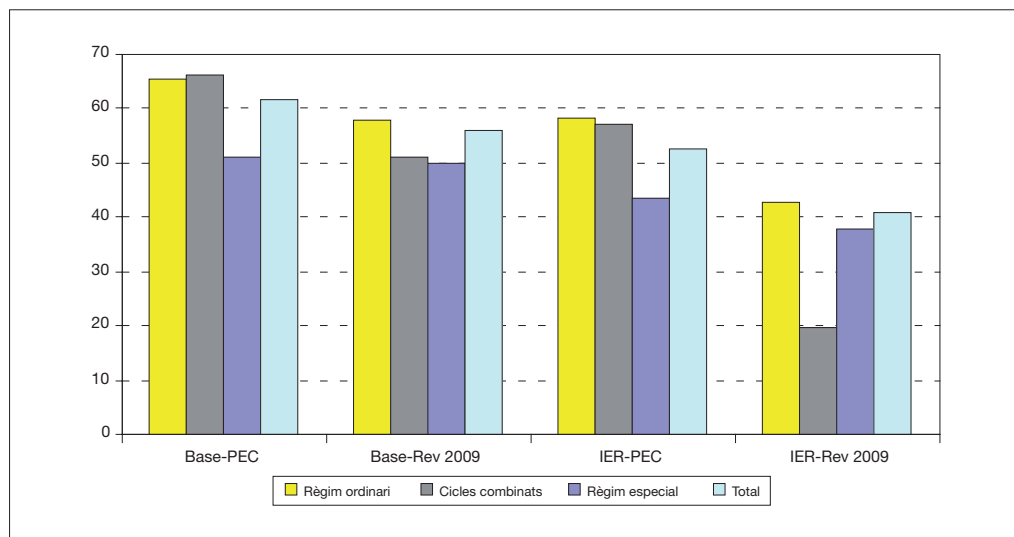


Figura 11. Previsions del factor de capacitat de generació d'electricitat al 2015 segons el règim de producció i l'escenari, amb el detall del cicles combinats, en el Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, i la seva revisió del 2009.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament de Treball i Indústria, i Departament d'Economia.

d'energia de Catalunya 2006-2015 (PEC) i de la revisió de 2009, pels seus totals i el detall de règim ordinari o especial de generació. S'ha detallat el valor dels cicles combinats (classificat com a règim ordinari) per la seva forta variació en l'escenari IER de la revisió de 2009. L'expli-

cació d'aquesta disminució s'inclou en l'explicació de la figura 12.

Més del 94% de la generació d'electricitat de 2015 provindrà de cinc tecnologies en qualsevol dels escenaris del Pla de l'energia de Catalunya o de la seva revisió de 2009. Les tecnologies són

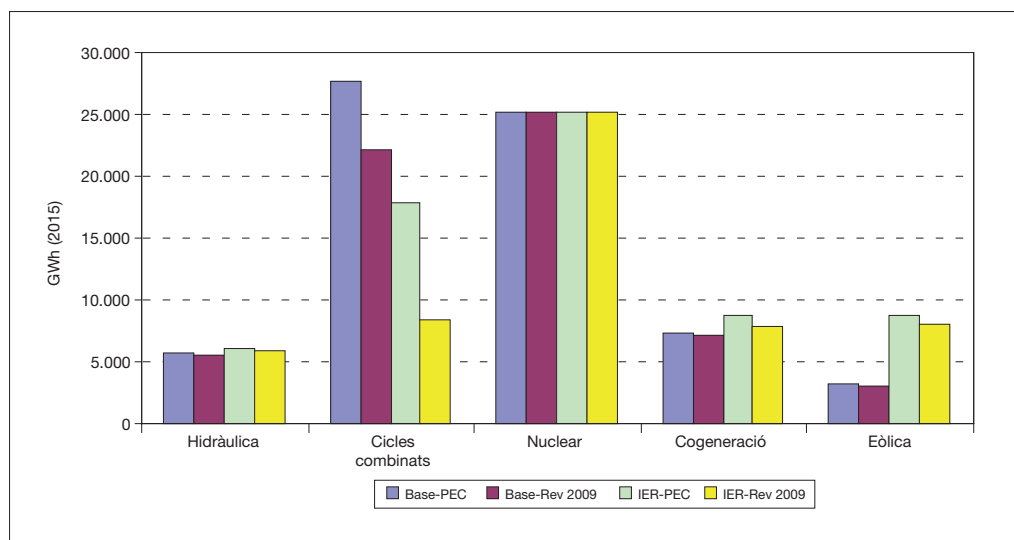


Figura 12. Estimació de la generació d'electricitat el 2015 amb les cinc principals tecnologies, segons els escenaris del Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015 i la seva revisió de 2009.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament de Treball i Indústria, i Departament d'Economia.

les reflectides a la figura 12. La nuclear i la hidràulica fluent es consideren de base, per la qual cosa tenen prioritat sobre qualsevol altra tecnologia. L'eòlica també és prioritària, però tot i això, ha de reduir la seva producció quan la xarxa no pot acceptar tota la generació potencial en un moment determinat. La generació d'electricitat de la figura 12 mostra un valor constant de la tecnologia nuclear en tots els escenaris i plans. La hidràulica té molt poques diferències. El gran augment de l'eòlica, juntament amb el modest de la cogeneració, en el context exposat de la tecnologia nuclear i la hidràulica de base, comporta una disminució de la generació dels cicles combinats. No obstant això, la potència prevista per a aquesta tecnologia es manté constant en la revisió de 2009, i per sobre dels valors del *Pla d'energia de Catalunya 2006-2015* (figura 13). La conseqüència de mantenir els elevats valors de la potència bruta dels cicles combinats és que el seu factor de càrrega resulta reduït al 20%, segons càlculs propis. Si aquesta tecnologia operés amb el factor de càrrega previst a l'escenari base del *Pla 2006-2015*, només caldrien 1.846 MW en cicles combinats, la qual cosa implicaria que sobrarien 3.086 MW dels previstos a l'escenari IER de la revisió de 2009.

L'energia electrosolar, tant la fotovoltaica com la termoelectrica, presenten increments significatius en l'escenari IER de la revisió de 2009 (figura 13) com a conseqüència de l'evolució del mercat d'aquestes tecnologies a l'Estat.

Els augments de potència bruta de generació eòlica i solar queden reflectits en l'increment de la potència bruta del règim especial (figura 14).

Amb la informació aportada fins ara podem analitzar les previsions energètiques de Catalunya respecte a les derivades del *Plan de energías renovables en España 2005-2010* elaborat per l'IDAE i de les diverses directives de la Unió Europea. La consideració d'aquests documents energètics té rellevància en el document present, ja que els objectius no han estat exclusivament energètics sinó també de reduir les emissions de GEH. La taula 18 resumeix els termes dels compromisos i la situació prevista de Catalunya en els dos escenaris previstos en el PEC 2006-2015 (original i revisió de 2009), i mostra també la situació de 2007 com a referència. Amb les previsions d'aquest pla es compliran en primer lloc la contribució marcada pel PER 2005-2015 (versió original) de fonts renovables en el transport amb l'escenari IER i, previsiblement, el contingut marcat per la UE de biocarburants el 2020. La

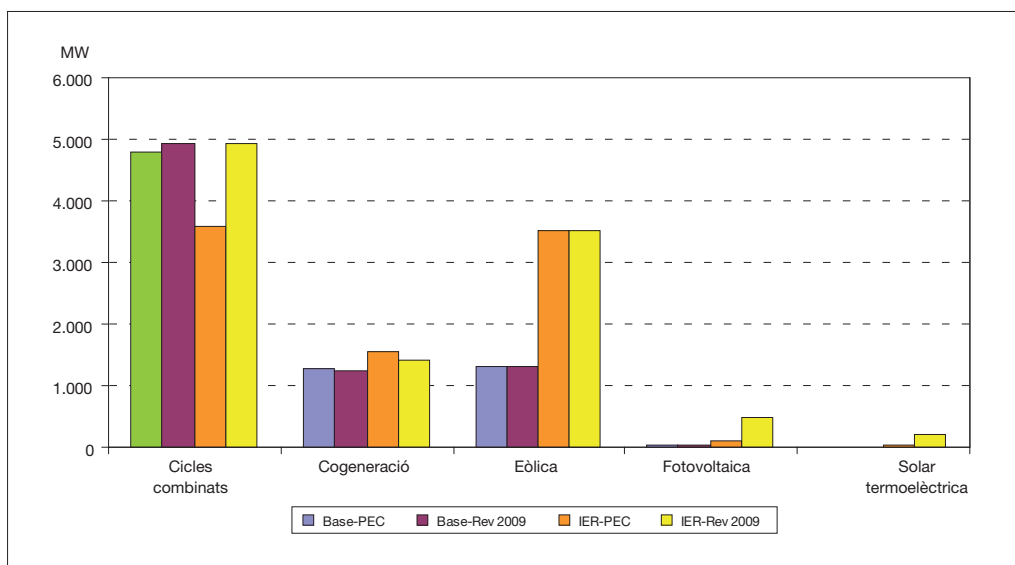


Figura 13. Previsions de la potència bruta de generació d'electricitat al 2015 segons la tecnologia de producció i l'escenari, en el Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, i la seva revisió de 2009.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament de Treball i Indústria, i Departament d'Economia.

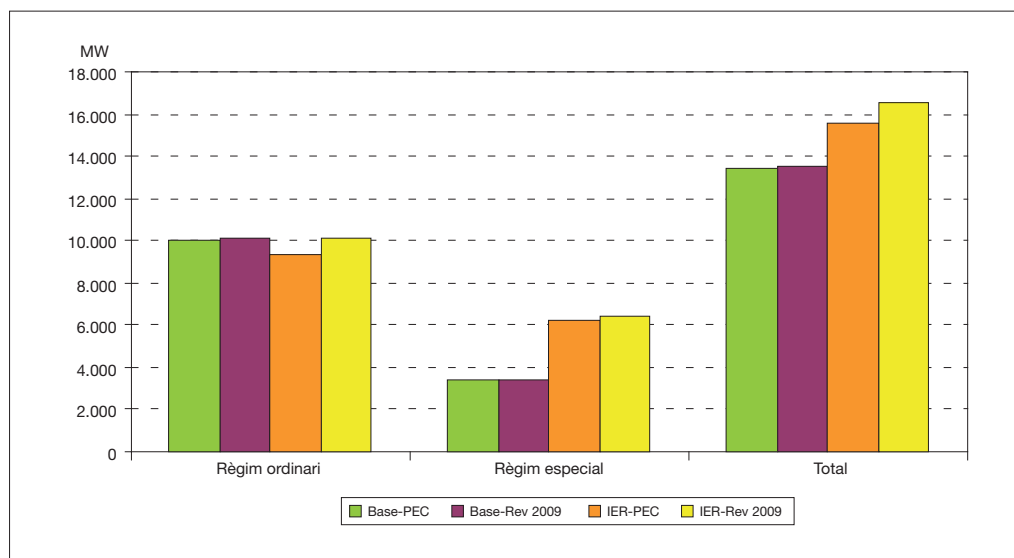


Figura 14. Previsions de la potència bruta de generació d'electricitat al 2015 segons el règim de producció i l'escenari, en el Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, i la seva revisió de 2009.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament de Treball i Indústria, i Departament d'Economia.

	Compromisos		Real	Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015				Revisió 2009	
Origen	Any	%	2007	2010		2015		2015	
PER 2005-2010				Base	IER	Base	IER	Base	IER
Contribució d'ER en el consum primari	2010	12,1	2,8	4,27	6,86	4,17	9,53	4,29	10,01
Contribució d'ER en el transport	2010	5,83	1,93	4,47	8,46	4,22	22,44		
Contribució d'ER en generació elèctrica	2010	30,3	9,64	19,01	25,61	17,41	27,24	14,19	27,97
UE									
Contingut de biocarburants	2020	10	1,93			3,61	16,1	2,23	9,56
Cogeneració	2010	18	12,44	11,96	11,34	9,97	12,32	10,68	13,37

Taula 18. Comparativa entre les previsions del Pla d'energia de Catalunya 2006-2015 i els principals compromisos energètics de Catalunya.

Font: Departament de Treball i Indústria. Generalitat de Catalunya; ICAEN; IDAE. Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç; Diari Oficial de la Unió Europea.

proporció de fonts renovables en la generació elèctrica per al 2010 segons el PER 2005-2015 estaria prop de ser assolida el 2015 en l'escenari IER. És particularment preocupant l'incompliment del 18% de cogeneració en la generació elèctrica de 2010, ja que, mentre que el 2003 la cogeneració significava el 14,5% del total de la generació elèctrica a Catalunya, aquesta proporció baixa per sota del 10% (pla original) el 2015 en l'escenari base i a 11,3% el 2010 en l'escenari

IER, sense arribar a l'objectiu del 18% de la UE el 2015. En la revisió de 2009, la proporció de cogeneració augmenta una mica —malgrat que en valors absoluts es redueix— a causa del descens de la producció total d'electricitat, sense acostar-se al compromís. També és preocupant que els 2.400 MW de generació elèctrica amb cicles combinats de gas natural previstos en l'escenari base (o 1.200 MW en l'IER) no incorporin la cogeneració com és habitual en altres regions

europées, especialment quan el Pla d'energia proposa que la nova generació amb cicles combinats es faci prop del consum elèctric, la qual cosa hauria de facilitar l'aprofitament de gran part de la calor perduda en la generació termoelectrica.

17.4. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivats de l'energia

En el capítol 4, Baldasano apunta que «les emissions degudes a energia i transport són un punt clau pel que fa a les emissions de gasos d'efecte hivernacle», i que a Catalunya «les seves emissions han augmentat per sobre del total d'emissions», de l'ordre d'un 62,7% del període any base-2007, per la qual cosa «s'han de dur a terme esforços en política mediambiental en aquest sector».

En aquest apartat hem emprat les categories d'activitat 1.A *Actividades de combustión* de l'inventari nacional d'emissions de contaminants a l'atmosfera de la *Subdirección General de Calidad del Aire y Medio Ambiente Industrial del Ministerio de Medio Ambiente*, y *Medio Rural y Marino*. No hem considerat les emissions fugitives dels combustibles perquè no disposem de les dades derivades del Pla d'energia de Catalunya 206-2015. Aquestes emissions fugitives dels combustibles

van ser de 263,52 kt l'any 2007, un 0,62% del total de les emissions del processat de l'energia, per la qual cosa podem donar per vàlid el que exposarem en aquest apartat. Les estimacions de les emissions de GEH del Pla d'energia de Catalunya 2006-2015 les hem extrapolat linealment des de l'any base 1990. També hem extrapolat linealment l'aplicació per a Catalunya dels límits del Protocol de Kyoto (de 15%) i els assignats a l'Estat (de 37%), només per poder comprendre més fàcilment l'evolució temporal de les emissions reals respecte a les previsions del PEC i als límits del Protocol de Kyoto. Les emissions de GEH fins el 2007 s'han mantingut per sota de les previstes pel PEC 2006-2015 en qualsevol dels dos escenaris, excepte el 2005 en l'escenari IER (figura 15), però tant les emissions reals com les previstes pel PEC 2006-2015 estan molt per sobre dels compromisos de Kyoto (figures 15 i 16).

La figura 16 mostra les emissions reals del sector energètic a Catalunya de l'any base del Protocol de Kyoto (1990), del darrer any amb dades disponibles (2007), dels dos anys que el Pla d'energia de Catalunya aporta dades (2010 i 2015) i finalment del final del període actual d'aplicació de la reducció d'emissions del Protocol de Kyoto (2012). La tendència de les emissions

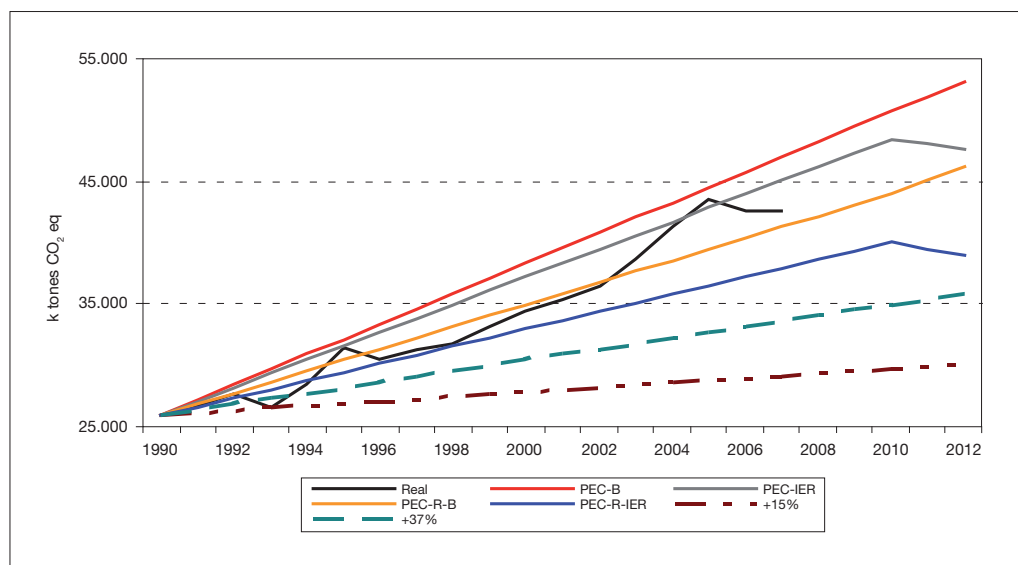


Figura 15. Evolució real i prevista de les emissions de GEH a Catalunya amb diferents escenaris i compromisos.
Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Departament de Medi Ambient i Habitatge.

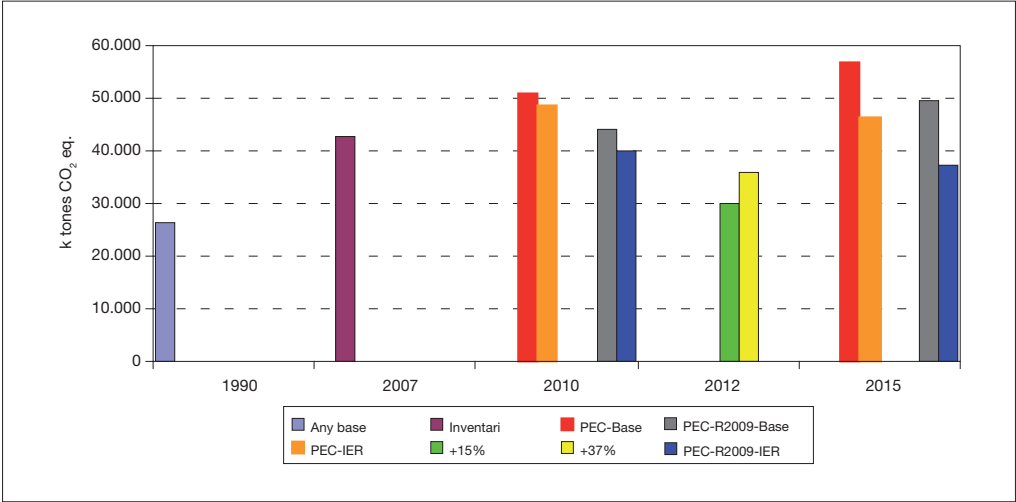


Figura 16. Emissions de GEH a Catalunya de diferents escenaris i compromisos.
Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Departament de Medi Ambient i Habitatge.

previstes és que, en qualsevol escenari i període, sobrepassin molt els límits de Kyoto. Només l'escenari IER mostra una lleu tendència a la reducció de les emissions després del 2010.

La taula 19 aporta la quantificació de les desviacions entre els màxims de les emissions segons el Protocol de Kyoto, el límit adoptat per l'Estat espanyol i el límit admès, incloent-hi la compra del 20% d'emissions amb drets d'emissió. En tots els casos hi ha un excés d'emissions situat entre el 12% de les emissions en el cas menys desfavorable (escenari IER i amb la compra del 20% de drets d'emissió) i el 76% de les emissions previstes en el cas més desfavorable (escenari base i assignació del Protocol de Kyoto

del 37% per a l'Estat espanyol). Les 5 Mt d'emissions d'origen energètic previstes a l'escenari IER per sobre del límit més alt considerat (amb la compra del 20% de drets d'emissió) estan en l'ordre de magnitud de les 5,33 Mt que l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic proposa que cal reduir. En cas que les emissions s'ajustessin més a les previsions de l'escenari base, en lloc de les 5 Mt serien 10 Mt les que caldria reduir.

El sector del transport és el que ha emès més GEH i ho continuarà fent fins el 2015 segons les previsions del PEC 2006-2015 (figura 17). La taula 20 mostra el valors referents a la figura 17. En el PEC 2006-2015 original només l'escenari IER d'aquest pla preveu una reducció d'emissions

	Protocol Kyoto	Límit Estat	Límit Estat + 20%
k tones CO ₂ eq.			
PEC-O-base	23.000	17.241	10.458
PEC-O-IER	17.557	11.798	5.014
PEC-R-base	16.113	10.354	3.571
PEC-R-IER	8.898	3.139	-3.645
% excés d'emissions			
PEC-O-base	76	48	25
PEC-O-IER	58	33	12
PEC-R-base	54	29	8
PEC-R-IER	30	9	-9

Taula 19. Excés d'emissions de GEH previstes en el Pla d'energia de Catalunya 2006-2015 original i revisat, segons els escenaris i el criteri comparatiu.
Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Departament de Medi Ambient i Habitatge.

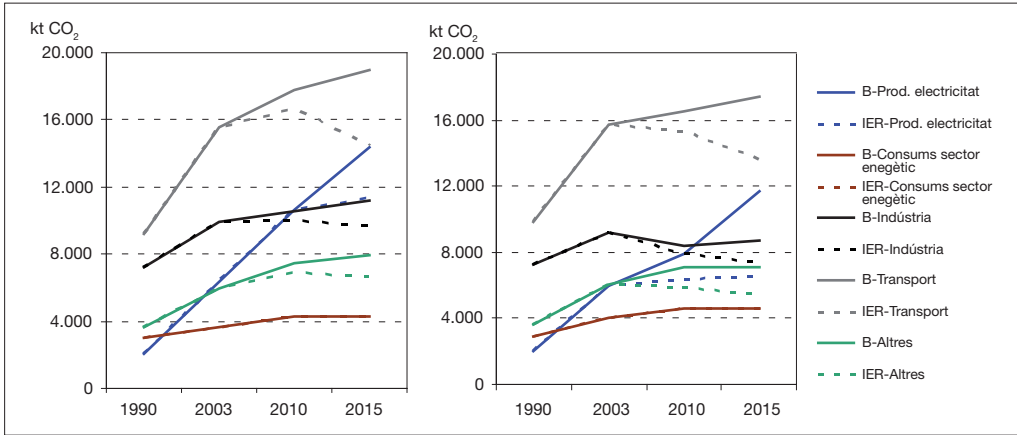


Figura 17. Evolució prevista de les emissions de GEH d'origen energètic per sector i per escenari del PEC 2006-2015 (esquerra) i de la seva revisió de 2009 (dreta).
Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015 i la seva revisió de 2009.

Cicle - PEC 2006-2015	1990	2003	2010	2015
B-Prod. electricitat	2.083	6.334	10.623	14.335
IER-Prod. electricitat	2.083	6.334	10.620	11.368
B-Consums sector energètic	3.003	3.657	4.261	4.261
IER-Consums sector energètic	3.003	3.657	4.261	4.261
B-Indústria	7.213	9.898	10.546	11.221
IER-Indústria	7.213	9.898	9.988	9.702
B-Transport	9.213	15.584	17.795	18.954
IER-Transport	9.213	15.584	16.699	14.414
B-Altres	3.639	5.984	7.492	7.914
IER-Altres	3.639	5.984	6.905	6.697
Total				
Base	25.151	41.457	50.717	56.685
IER	25.151	41.457	48.473	46.442
Cicle - PEC Rev 2009	1.990	2.003	2.010	2.015
B-Prod. electricitat	2.003	5.978	7.881	11.721
IER-Prod. electricitat	2.003	5.978	6.357	6.524
B-Consums sector energètic	2.896	4.022	4.601	4.601
IER-Consums sector energètic	2.896	4.022	4.601	4.601
B-Indústria	7.245	9.172	8.416	8.688
IER-Indústria	7.245	9.172	7.869	7.348
B-Transport	9.819	15.736	16.518	17.458
IER-Transport	9.819	15.736	15.309	13.651
B-Altres	3.653	6.044	7.073	7.073
IER-Altres	3.653	6.044	5.870	5.373
Total				
Base	25.616	40.952	44.489	49.541
IER	25.616	40.952	40.006	37.497

Taula 20. Evolució prevista de les emissions de GEH d'origen energètic per sector i escenari del PEC 2006-2015 i de la seva revisió de 2009. (kt CO₂)
Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015 i la seva revisió de 2009.

de GEH dintre del període 2010-2015. La generació elèctrica era el sector amb menys emissions de GEH fins l'any 2003, però se situarà en segona posició segons les previsions del PEC 2006-2015. La resta de sectors continuaran augmentant les seves respectives emissions de GEH fins el 2010 i mantenint-se molt semblants entre 2010 i 2015. Les previsions del transport i de la generació elèctrica són les més preocupants tant per la seva magnitud i tendències principals com pel fet que no s'avenen als compromisos del PER 2005-2010 ni a les directives de la UE de generació elèctrica (taula 18).

En la revisió de 2009 del PEC 2006-2015 s'observen variacions en les dades històriques de 1990 i 2003. En les previsions de la revisió de 2009 del PEC 2006-2015, el total de les emissions per al 2010 es redueixen un 12% en l'escenari base i un 17% en l'escenari IER respecte als corresponents valors del PEC original. El repartiment per sectors és molt divers.

Les reduccions d'emissions són molt diferents segons el component del cicle energètic. Les principals reduccions en termes percentuals corresponen a la producció d'electricitat amb el 40% per al 2010 i el 43% per al 2015 segons l'escenari IER, o el 26% i el 18%, respectivament, segons l'escenari base. El segueix la indústria, amb una reducció del 21% el 2010 i el 24% el 2015 segons l'escenari IER, o el 20% i el 23%, respectivament, segons l'escenari base. Les reduccions del sector transport oscil·len entre només el 5% i el 8%. Les emissions dels consums propis del sector energètic augmenten un 8%.

Les emissions específiques de GEH en la generació elèctrica per unitat d'energia elèctrica bruta produïda continuen creixent segons les previsions de l'escenari base del PEC 2006-2015 (figura 18). Només en el període 2010 a 2015 de l'escenari IER mostra una estabilització al voltant de 160 g de CO₂ eq per kWh generat. En la revisió de 2009 les emissions es valoren en 110 g de CO₂ eq. per kWh en l'escenari IER, i en 176 g de CO₂ eq. per kWh en l'escenari base per a l'any 2015. No hi ha dades per al 2010.

Una tendència similar es dona en les emissions energètiques de GEH per unitat del total d'energia final consumida (figura 19), amb el màxim de 2,82 tones de CO₂ eq. per TEP l'any 2015 en

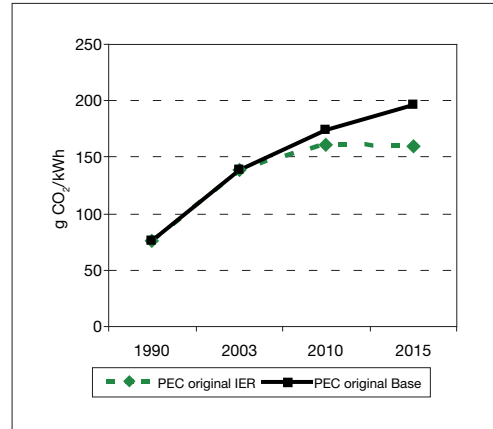


Figura 18. Evolució històrica i prevista de les emissions de GEH per kWh elèctric generat segons escenari del PEC 2006-2015.

Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015.

l'escenari base i el mínim de 2,65 tones de CO₂ eq. per TEP el 1990 en el mateix escenari. L'escenari IER té el mínim de 2,58 l'any 2015. Ja que la relació entre l'energia final i la primària consumides s'ha mantingut dintre d'uns marges estrets (55,3% el 1993 i 60,3% el 2007) i amb una certa tendència l'augment; la raó d'haver emès més GEH per TEP consumit d'energia final segons l'escenari base no pot ser la pèrdua del rendiment de la transformació de l'energia primària a la final. Analitzant la sèrie 1990-2007 de la dependència en els combustibles fòssils es veu una tendència creixent amb el mínim de 63,6% l'any 1990 i el màxim de 75,5% l'any 2005, alhora que una tendència a la baixa de la contribució de les fonts renovables amb el seu màxim de 3,9% l'any 1992 i el mínim de 2,4% els anys 2005 i 2006 (Font: Institut Català d'Energia). La raó de l'augment d'emissions de GEH per TEP d'energia es deu, per tant, al pes creixent dels combustibles fòssils. En la revisió de 2009, les emissions es valoren en 2,48 tones de CO₂ eq. per TEP d'energia final consumida en l'escenari IER, i en 2,82 tones de CO₂ eq. per TEP d'energia final consumida en l'escenari base per a l'any 2015. Les emissions específiques de tones de CO₂ eq. per TEP d'energia primària consumida, els valors resulten ser de 1,72 en l'escenari IER i de 1,87 en l'escenari base. No hi ha dades per al 2010.

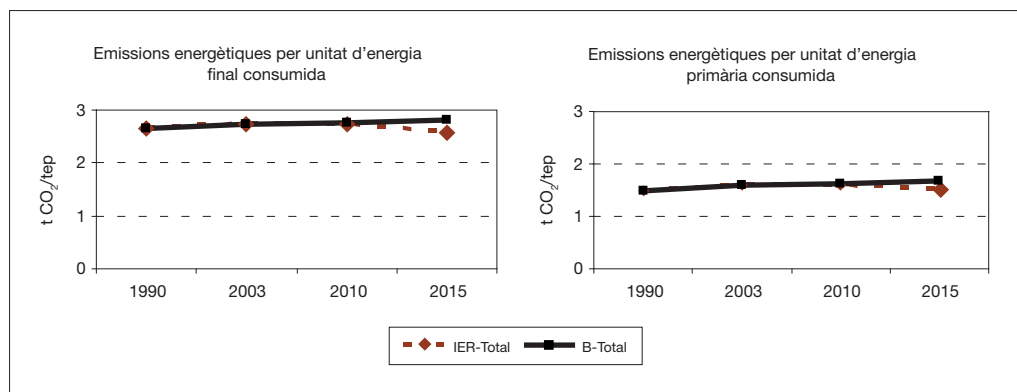


Figura 19. Evolució històrica i prevista de les emissions de GEH per unitat d'energia final i primària consumida segons l'escenari del Pla d'energia de Catalunya 2006-2015.

Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015.

La figura 20 mostra les emissions i els drets d'emissió assignats a Catalunya l'any 2008 pel sector de generació d'energia elèctrica, de cogeneració a altres sectors, incloses altres activitats de combustió. Les emissions d'aquest últim sector són 2.124 kt menors que les assignacions. Aquesta dada s'ha de relacionar amb la menor activitat productiva deguda a la crisi de l'any 2008. Les emissions de la generació elèctrica superen en 2.565 kt les assignacions.

La figura 21 mostra la diferència entre les assignacions de drets d'emissió derivats de l'ús de l'energia a Catalunya pels sectors considerats a la figura anterior, i les seves emissions reals, per als darrers tres anys amb dades. El sector de generació elèctrica és l'únic que excedeix les assignacions. Cal tenir present la reducció d'assignacions en 1.719 kt de CO₂ per aquest sector l'any 2008.

La figura 22 mostra la diferència entre les emissions previstes en la revisió de 2009 del Pla

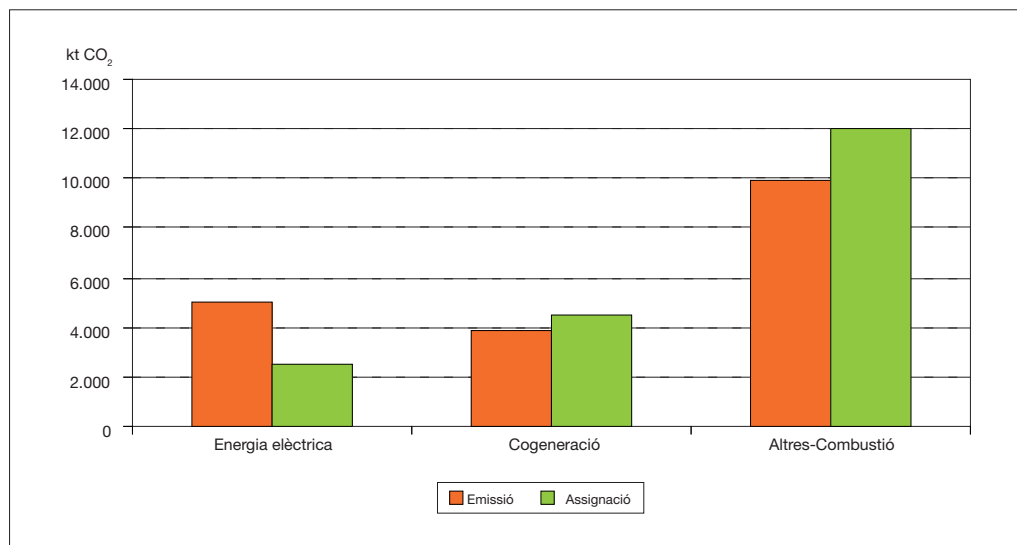


Figura 20. Emissions i assignacions de drets d'emissió derivats de l'ús de l'energia a Catalunya l'any 2008.

Font: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge.

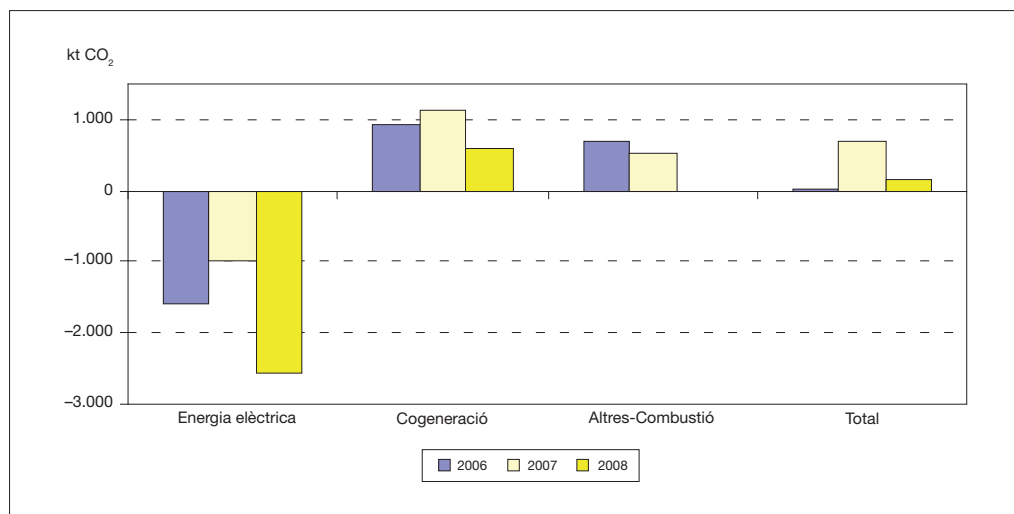


Figura 21. Diferència entre les assignacions de drets d'emissió derivats de l'ús de l'energia a Catalunya per any i per sectors principals, i les emissions reals.

Font: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge.

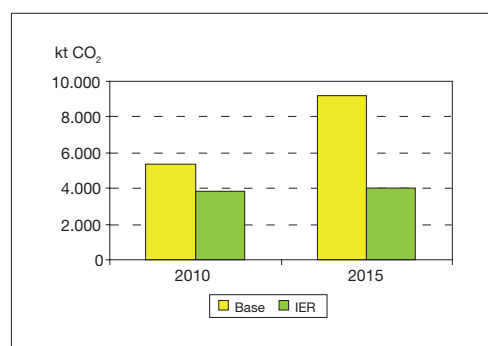


Figura 22. Diferència entre les emissions previstes a la revisió de 2009 del Pla de l'energia 2006-2015 i les assignacions de drets d'emissió de 2008 derivats de l'ús de l'energia de la generació elèctrica a Catalunya.

Font: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge.

d'Energia de Catalunya 2006-2015 i les assignacions de drets d'emissió de 2008 derivats de l'ús de l'energia de la generació elèctrica a Catalunya.

Les emissions previstes a l'escenari base pel 2010 més que tripliquen les assignades l'any 2008. Les de l'any 2015 superen 4,7 vegades l'assignació de 2008.

Els indicadors de les emissions d'origen energètic de gasos amb efecte hivernacle relatius a la població i als consums d'energia primària i final a Catalunya el 2007 han millorat respecte als valors de l'any 2000 (taula 20). En canvi, l'indicador de les emissions per unitat de superfície ha augmentat en 11,75% respecte a les emissions de l'any 2000 perquè les emissions d'origen energètic han augmentat en 8.125 kt del 2000 al 2007. En canvi, en el mateix període, l'augment de la població i de l'eficiència s'han incrementat més que els GEH, per la qual cosa els indicadors de les seves emissions han disminuït.

La figura 23 mostra els consums d'energia i les emissions de GEH per sector el 2003 i les previsions dels escenaris del Pla d'energia de Catalunya 2006-2016 en la seva revisió de 2009, respecte al

	Unitat	2007	2000
Població	t CO ₂ eq/any per habitant	5,9	6,4
Consum d'energia primària	t CO ₂ eq per TEP	1,6	1,7
Consum final d'energia	t CO ₂ eq per TEP	2,6	2,9
Superfície	t CO ₂ eq/any per km ²	1.333	1.193

Taula 20. Indicadors de les emissions d'origen energètic de gasos amb efecte hivernacle a Catalunya (anys 2000 i 2007).

Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, Informe sobre el canvi climàtic (2005).

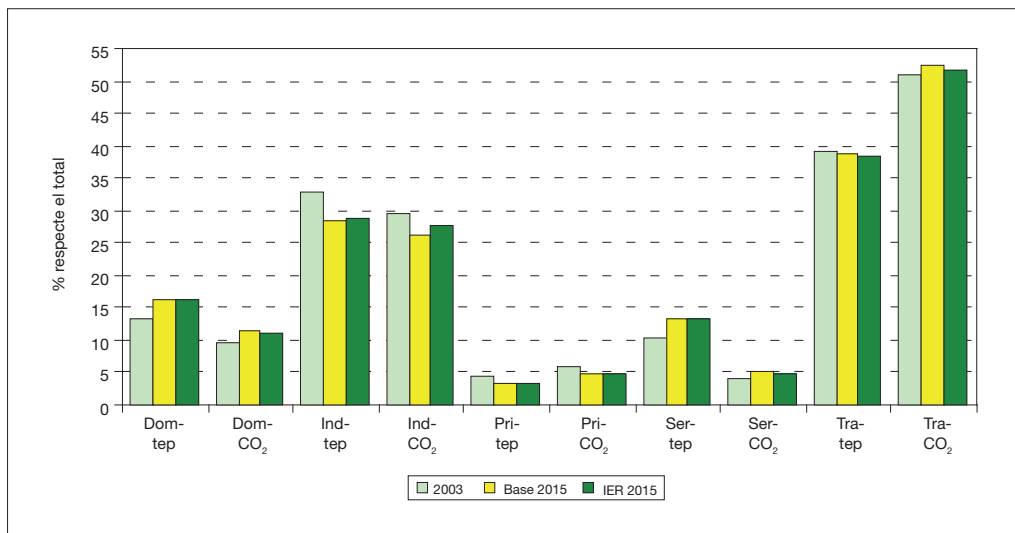


Figura 23. Consum d'energia respecte al consum final total d'energia, i emissions de CO₂ eq. respecte al total del consum final d'energia, per sectors i escenaris.

Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, revisió de 2009.

consum final total d'energia. El sector transport és el més consumidor d'energia final i el més emissor. Els consums baixen molt poc i les emissions augmenten respecte el 2003. La indústria és el segon consumidor i emissor, si bé els seus valors es redueixen en les previsions respecte el 2003. Els sectors domèstic i serveis incrementen els consums i les emissions respecte als valors de l'any 2003.

La figura 24 mostra les emissions per unitat d'energia final consumida el 2003, i les previsions dels escenaris per al 2015, per sectors, i el total de consum final d'energia. En tots els casos les previsions per al 2015 són menys emissores per unitat d'energia que en el 2003. El sector amb més emissions per energia consumida és el primari, seguit de prop pel de transport, a causa

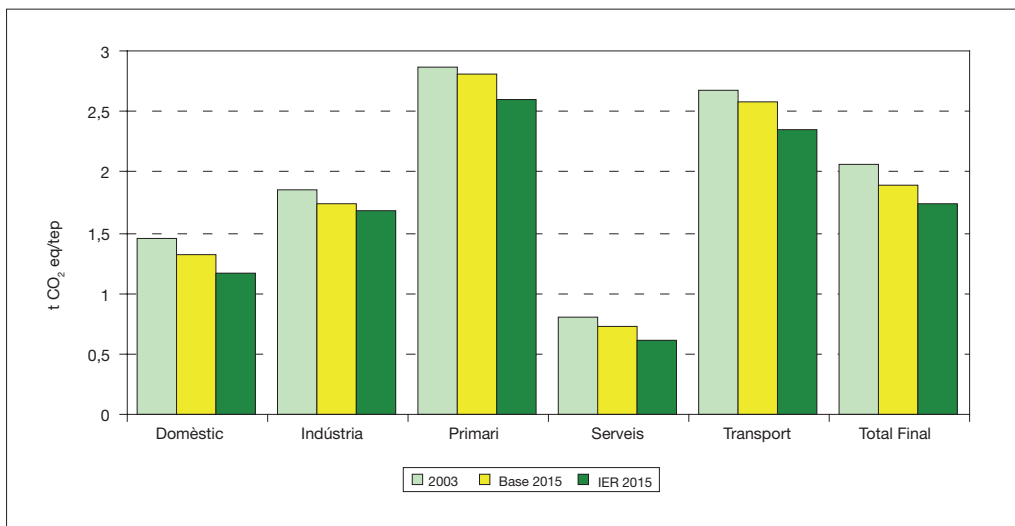


Figura 24. Emissions de CO₂ eq. per unitat de consum final d'energia, per sectors i escenaris.

Font: Pla d'Energia de Catalunya 2006-2015, revisió de 2009.

de la preponderància del consum de combustibles derivats del petroli respecte als altres sectors. El sector serveis és el menys emissor per unitat d'energia final consumida. La menor emissió específica es pot explicar per la major eficiència energètica derivada a instal·lacions eficients i per l'ús de la cogeneració.

La figura 25 mostra la relació percentual entre les emissions de GEH per unitat d'energia final consumida dels escenaris base i IER de la revisió de 2009 del Pla d'energia de Catalunya 2006-2015 respecte als valors de 2003 per sector i consum final total d'energia. En tots els casos els consums específics són menors que el 2003. L'escenari IER del sector serveis preveu la principal reducció (22,9%), seguida del sector domèstic (19,8%).

17.5. Influència directa del canvi climàtic en el sistema energètic de Catalunya

L'increment mitjà de temperatura previst a Catalunya provocarà, per una banda, una disminució de la demanda en calefacció, principalment de combustibles i en menor mesura d'electricitat, i per altra banda un increment de la demanda de fred en climatització, neveres i congeladors, la qual serà coberta per electricitat. El subministrament d'energia elèctrica per a la climatització

coincidirà amb les puntes de consum, la qual cosa repercutirà en la potència disponible garantida de generació. Aquest és un paràmetre molt important que afecta la inversió en capacitat de generació, la selecció de tecnologies amb major garantia de subministrament i la tendència a aprofitar la major part de la potència de generació al màxim d'hores, amb el corresponent increment del consum elèctric.

La producció energètica es veurà afectada pels impactes del canvi climàtic a Catalunya. Les sequeres causen una disminució de l'abastament de les centrals hidroelèctriques, principalment les d'aigua fluent, la qual cosa es tradueix en una reducció de la generació hidroelèctrica. També afecta la seguretat del sistema elèctric en cas de patir un zero o caiguda de la xarxa, ja que una de les primeres instal·lacions que permeten la reinicialització gradual de la xarxa és la d'embassaments com el de Boadella. La disminució de la generació hidroelèctrica dels embassaments també pot ser produïda pels desguassos d'aquests embassaments en períodes de pluges molt intenses. El rendiment de les instal·lacions fotovoltaïques disminueix amb l'augment de la temperatura ambient.

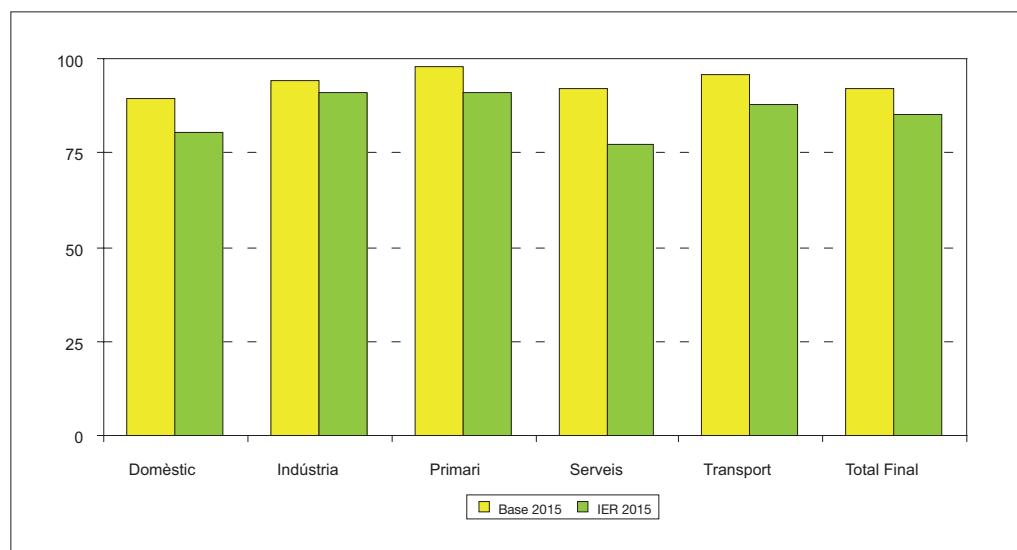


Figura 25. Emissions de CO₂eq. per unitat de consum final d'energia respecte al valor de 2003, per sectors i escenaris, en percentatge.

Font: Pla d'energia de Catalunya 2006-2015, revisió de 2009.

Els principals factors que poden reduir la capacitat de generació hidroelèctrica en el futur deguts als canvis en el cicle de l'aigua derivats del canvi climàtic són⁴:

- menys precipitació i més evapotranspiració
- més probabilitat i més freqüència de sequeres
- menys precipitació de neu
- canvis en els patrons de pluja
- augment de la freqüència d'esdeveniments extrems de tempestes, amb risc de desbordaments.

La variació de la intensitat o de la distribució del règim de vents afectaria la generació eòlica d'electricitat. Els aerogeneradors solen deixar-se fora de servei a velocitats a partir de 20 m/s o lleugerament superiors per motius de seguretat.

Els impactes del canvi climàtic en la producció agrícola i en els boscos repercuteixen en el sector de l'energia en la magnitud de l'energia primària que proporcionen i en la seguretat del seu subministrament, la qual podria quedar afectada per les variacions interanuals i per episodis d'incendis, inundacions o plagues.

Les instal·lacions energètiques poden quedar malmeses o fora de servei per una major intensitat i freqüència de les tempestes i altres episodis extrems: llamps, inundacions, forts vents, onatge o algues extraordinàries⁵. En el mar, les instal·lacions petroleres, gasístiques i eòliques poden quedar temporalment fora de servei o malmeses.

La generació termoelectrica necessitarà més cabal de refrigeració a causa del previsible augment de la temperatura de l'aigua dels rius o la superficial del mar. També és possible un necessari augment de la potència dels sistemes de refrigeració degut a l'increment de la temperatura de l'aigua i del menor increment de temperatura permès a l'aigua retornada als rius o al mar. Ja s'han donat casos de reducció obligada

de la generació deguda a l'alta temperatura de l'aigua del riu o del seu baix cabal.⁶

Els impactes del canvi climàtic a Catalunya poden ser importants en les instal·lacions de transport i distribució d'energia per diversos motius. Els més obvis són els produïts pels episodis d'incendis, nevades humides, boires gebradores i tempestes sobre les línies d'alta tensió, les inundacions de carreteres i vies de ferrocarril, o els temporals a mar que malmetin ports, interrompin la navegació o provoquin l'enfonsament de vaixells. Les altes temperatures també causen impactes importants, sovint menys coneguts. Una de les limitacions de la capacitat de càrrega de les línies elèctriques i dels transformadors és la temperatura, i a Catalunya s'han donat diversos casos de problemes per aquest motiu. El rendiment d'aquestes instal·lacions baixa amb l'augment de la temperatura de treball. Les temperatures per sobre de les usuals han provocat la dilatació excessiva de vies de tren i la conseqüent deformació i interrupció del trànsit. Els mateixos efectes es produeixen en oleoductes i gasoductes superficials.

17.6. Influència indirecta del canvi climàtic en el sistema energètic de Catalunya

La principal influència indirecta del canvi climàtic sobre l'energia a Catalunya és l'augment de la competència pels recursos econòmics, d'aigua i de biomassa. Econòmics per fer front a la necessitat de noves infraestructures i d'un major cost del seu manteniment i reparació, i possiblement de l'energia. D'aigua, per una previsible major demanda d'aigua per a l'agricultura i per a la refrigeració de centrals termoelectriques. De biomassa, per la possible disminució de la producció de productes emprats en alimentació i en l'obtenció de biocarburants, com cereals i remolatxa.

Un increment addicional a l'actual de la coberta forestal per mitigar el canvi climàtic reduiria encara més el cabal dels rius, especialment a

4. Alcántara, V., Padilla, E., «Implicacions socioeconòmiques entorn del sector de l'aigua», a *Aigua i canvi Climàtic*, Generalitat de Catalunya 2009.

5. «Dos oleadas de algas obligan a parar Ascó II», *La Vanguardia*, 1-10-2005.

6. O. Martí, «La ola de calor provoca una grave disminución del rendimiento de las centrales nucleares», *El País*, 12-8-2003; «Francia compra electricidad a España debido a los problemas de sus nucleares», *La Vanguardia*, 14-8-2003; «El calor para la nuclear de Garoña», 25-7-2006; «France imports UK electricity as plants shut», *Times Online*, 3-7-2009.

les zones pirinenques, amb la corresponent disminució de la generació hidroelèctrica. El treball de Francesc Gallart⁷ conclou que «s'observen alguns canvis en el règim del riu que tenen les capçaleres a l'alt Pirineu», i que la tendència de la disminució de cabals atribuïts a l'augment de l'evapotranspiració a les capçaleres per l'increment de la cobertura forestal correspondria al 0,26% del cabal mitjà mesurat a l'Ebre i en primera aproximació correspondria al 0,61% del cabal mitjà mesurat per a les conques internes. Els efectes dels canvis de la cobertura vegetal es mostren més importants que les tendències climàtiques.

17.7. Mesures d'adaptació al canvi climàtic del sistema energètic de Catalunya

En gran part les mesures d'adaptació del sistema energètic de Catalunya al canvi climàtic depenen de les mesures de mitigació que es facin. Simplificant-ho molt per aclarir el que hem apuntat, el sistema energètic amb mínimes emissions de GEH podria basar-se en energia nuclear o en energies renovables. Les adaptacions que serien necessàries en cada cas serien molt diferents. Les mesures que apuntarem aquí es referiran, per una banda, a un sistema energètic poc diferent a l'actual, és a dir, correspondran a les mesures que estimem necessàries o convenients en el sistema energètic existent i en construcció. Per l'altra banda, proposaran canvis en el sistema actual per adequar-lo a les noves condicions climàtiques, coherents amb les previsions i futures necessitats energètiques i de sostenibilitat.

El sistema energètic ha de preveure i adaptar-se als impactes del canvi climàtic; per començar, a l'augment previst de les interrupcions de subministraments externs (vaixells, línies de molt alta tensió) i interns (línies de mitjana i baixa tensió, subministraments de fonts renovables i de combustibles per carretera) per minimitzar la freqüència i la durada de la manca d'abastaments. És fonamental haver considerat amb anticipació suficient les diferents causes possibles i tenir operatives cada una de les solucions en el moment oportú. El subministrament a serveis indispen-

sables (hospitals, transport públic, telefonia, serveis d'emergència...) ha de tenir un tractament prioritari i garantit.

El sistema elèctric ha d'adaptar les seves línies i transformadors al possible increment de temperatura i de la punta de la demanda a l'estiu, així com a l'augment de la temperatura de l'aigua de refrigeració de la generació termoelectrica.

Les noves necessitats de climatització deriven de l'augment general de la temperatura i de les illes de calor en particular, poden tenir uns impactes molt rellevants segons com es resolguin. La pitjor solució és incrementar la potència convencional de climatització. La millor, preveure aquestes necessitats amb un bon urbanisme i amb una bona arquitectura bioclimàtica o passiva. L'ús de bombes de calor amb un alt rendiment (o COP), especialment les que utilitzin com a recurs tèrmic el subsòl o aigües subterrànies, pot ser una solució per als edificis existents.

El sector de l'edificació té una importància, tant pel seu consum d'energia com per les seves emissions, que sol passar desapercebuda, ja que aquests valors se solen incloure en diverses partides comptables. Segons alguns autors,⁸ la xifra del 40% de les emissions de CO₂ eq atribuïdes a l'edificació a Catalunya probablement són inferiors a la realitat. Les emissions de l'edificació comporten una primera contribució deguda a l'energia dels materials i del procés de construcció (avaluada entre un 30% i un 40% del total) i la contribució associada al seu ús durant la vida útil de l'edifici (avaluada entre el 60% i 70% restant)⁸. És important ressaltar que la primera contribució es realitza en un període de temps molt curt període. És per això que es fan múltiples recomanacions per promoure la rehabilitació d'edificis abans que la construcció d'altres de nous.

El sistema energètic també s'ha d'adaptar a les noves lleis, normatives, oportunitats i circumstàncies que van sorgint com a conseqüència del canvi climàtic. Catalunya, l'Estat espanyol i la Unió Europea imposen o recomanen vivament uns mínims de fonts renovables en la generació elèctrica i en el transport, així com en l'eficiència

7. Gallart, F. «Canvis temporals observats en les sèries de cabals», a *Aigua i Canvi Climàtic*, Generalitat de Catalunya 2009.

8. Sabaté, J., *Construcció i habitatge, objectius i accions*.

d'equips elèctrics i dels edificis. Per exemple, la cogeneració pot distribuir calor i fred per una xarxa; un altre exemple, a escala molt més petita però rellevant, és la retirada gradual de les bombetes incandescent, que té un impacte sobre les lluminàries actuals. La introducció de fonts renovables en el sistema elèctric té molts efectes en la concepció, disseny, operació i normativa del sistema elèctric, en l'ús del territori, en l'urbanisme i en l'arquitectura. Són àmbits clau amb fortes inèrcies i que, precisament per aquests motius, cal que no ajornin la resolució de les seves implicacions derivades dels propers canvis del sistema energètic a Catalunya.

Finalment, els canvis apuntats necessiten nous professionals, noves tècniques i equips, i el coneixement dels recursos energètics propis. L'adquisició d'aquestes noves capacitats requereix temps i mestres capacitats. La seva acceptació social dependrà de la didàctica que s'hagi emprat en l'educació a la població, i per això cal que les actuacions de les administracions no enviïn missatges contraris fomentant, patrocinant o recolzant esdeveniments esportius o d'oci malbaratadors d'energia. Finalment, la realització dels canvis necessita una bona política que integri tots els àmbits involucrats. Tot això és part de les necessàries mesures d'adaptació al canvi climàtic.

17.8. Mesures de mitigació del canvi climàtic del sistema energètic

El binomi *energia-canvi climàtic* és fonamental en les polítiques actuals i de futur de qualsevol entitat de govern. Afecta dos àmbits essencials, el del canvi climàtic i l'energètic, en els seus components de seguretat d'accés als recursos, impactes, dependència i qualitat de vida. La mitigació del canvi climàtic en una situació energètica de forta dependència d'uns recursos que són els principals causants del canvi climàtic requerirà actuacions contra molts aspectes de la nostra vida actual que, fins fa molt poc, creïem imprescindibles i inqüestionables per mantenir el nostre nivell de vida i la nostra forma de vida. Les decisions s'hauran de prendre en termini molt curt, en un entorn d'incertesa tecnocientífica no menyspreable, i afectaran el funcionament de les nostres societats a curt, mitjà i llarg termini. En les circumstàncies de Catalunya, afectaran serio-

sament la seva autonomia i les seves relacions de dependència respecte a l'Estat i les altres comunitats autònomes. Catalunya haurà de decidir la seva dependència d'altres entitats pel compliment de les seves obligacions i compromisos de reducció d'emissions de GEH, així com de l'aportació de la cogeneració i de les fonts renovables en la generació elèctrica, en el consum d'energia primària i en el del sector del transport. Cap d'aquestes obligacions no resultarà fàcil d'assolir. Les dades de 2007 mostren que aquests valors són lluny de les obligacions i compromisos (taula 18). Haurem de decidir si ho solucionem a casa, si comprem (drets d'emissió, combustibles renovables, electricitat renovable) o si esperem una hipotètica cobertura de les nostres necessitats per part de les altres comunitats autònomes, com la cobertura que Catalunya fa a altres comunitats en altres àmbits.

El principi de proporcionalitat i de responsabilitat a tots els nivells de l'administració està recollit en diversos documents i acceptat per diverses institucions. Com a exemple incorporem una cita de la Comissió de la UE (2006):

La manera precisa com els estats membres planegen assolir els seus objectius ha de ser fixada en els plans nacionals d'acció, els quals s'hauran de notificar en la Comissió. (...)

s'ha de subratllar que els estats membres, les autoritats regionals i les autoritats locals han de fer una contribució significativa a l'augment de l'ús de les renovables.

Després d'haver decidit les qüestions estratègiques anteriors, podrem escollir, dintre dels marges de maniobra de què disposem, la capacitat de decisió política, econòmica i tecnològica que volem i estem disposats a assumir. Convé recordar que les competències actuals de Catalunya no són les mateixes per a cada font d'energia o tecnologia. Justament on tenim més competències (fins ara) és en les fonts renovables, encara que no en totes. Finalment, caldrà l'acord en la distribució de les responsabilitats, dels costos i dels impactes entre els diferents nivells de l'administració i del territori català, actors i sectors. Cap d'aquestes decisions no sembla fàcil.

La decisió sobre les fonts d'energia i sobre les tecnologies determinarà la producció i el consum d'energia, amb les corresponents emissions de GEH. Això implica legislar i regular els intercanvis energètics (importacions i exportacions), el contingut de renovables de l'energia comercialitzada (electricitat, calor, gas, combustibles líquids i sòlids), l'eficiència dels edificis, de les instal·lacions, dels serveis i equips energètics; gestionar la xarxa elèctrica (estructura, criteris d'operació) i les emissions —o els consums màxims— de certes activitats o en determinades zones. Tots aquests aspectes ja s'estan aplicant en altres branques de l'economia, com per exemple en la circulació de vehicles, les emissions sonores d'aquests vehicles i de diverses activitats, els continguts de sofre o de metà dels combustibles, els espais de fumadors o la localització d'antenes de telefonia, de centres comercials o d'activitats lúdiques i religioses.

Els temes de mitigació del canvi climàtic —com també el sistema o model energètic— estan fonamentats en una sèrie de valors de diversa naturalesa (nivell i estil de vida, política, ètica, aspectes corporatius, seguretat, dependència...), la

ponderació i la jerarquia dels quals determinen l'elecció de les diferents fonts i tecnologies energètiques possibles. Aquestes diferències es fan paleses en les negociacions internacionals i també en les diverses propostes energètiques de mitigació publicades a Catalunya i a l'Estat. Mencionar els principals valors citats en algunes d'aquestes publicacions permetrà copsar la seva diversitat (taula 21).

El marc d'anàlisi de l'energia en relació amb la mitigació del canvi climàtic cal fer-lo tenint en compte el factor econòmic i els altres factors de la sostenibilitat (ambiental i social) a més del tecnològic. El canvi climàtic és un component essencial del medi ambient. Les diverses polítiques i normatives departamentals i sectorials de l'administració pública han de garantir la possibilitat d'assolir a temps els compromisos d'emissions de GEH i els energètics, no fos cas que un excés de zel en algun tema (com el paisatge, el turisme o el creixement econòmic) o la incoherència de les polítiques (energètiques, ambientals, territorials, industrials, d'infraestructures, de formació i de recerca) impossibilités el compliment d'algun compromís, com la proporció de fonts

Autor, entitat	Valors destacats
Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya	Sostenibilitat, competitivitat, seguretat i qualitat de subministrament, menor dependència energètica exterior, diversitat i no exclusió de fonts, no renúncia als nivells de benestar adquirits, progrés social, debats rigorosos i transparents, participació.
Mariano Marzo	Disposar del flux de petroli necessari perquè el creixement econòmic exponencial i il·limitat no s'aturi; l'energia ha de ser neta, abundant i barata.
Jorge Ozcáriz	Autocontenció en el consum d'energia, coherència entre tecnosfera i biosfera,
Irene Díez	Millora de la vida rural, menor dependència energètica exterior, competitivitat econòmica, autoabastament, resposta al mercat, minimització d'externalitats, aturada de l'augment d'exploració del Sud.
Fernando Martínez	Desenvolupament més eficient, menys consumidor de recursos, més sostenible, canvi de paradigma del desenvolupament.
Pla d'energia de Catalunya	Millor competitivitat i benestar dels ciutadans de Catalunya, cobrir les necessitats energètiques minimitzant l'impacte sobre el medi ambient, la salut i la seguretat de les persones, garantir la viabilitat del sistema, permetre que la societat progressi i que es preservi el medi.
Xavier García	Quantificar i avaluar tècnicament la viabilitat d'un escenari basat en energies renovables pel sistema de generació elèctrica peninsular.
Plan de energías renovables 2005-2010	Complir compromisos ambientals, tenir menor dependència energètica exterior, preservar el medi ambient, garantir el desenvolupament sostenible.
Anja Doleschek	Demostrar que es pot cobrir tota la demanda d'energia elèctrica de Catalunya amb un sistema energètic renovable i eficient.

Taula 21. Principals valors destacats en diferents propostes per mitigar els consums i les emissions de GEH energètiques. Fonts: la dels autors, Generalitat de Catalunya (2006), IDAE.

renovables, la reducció de les emissions de GEH o del consum d'energia primària. Tampoc no es tracta de resoldre els problemes d'ara creant-ne d'iguals o pitjors per al futur (per exemple, deixant tones de residus radioactius o no preveient el risc de l'ús d'armament nuclear), contradient el principi de sostenibilitat. El reconeixement de la necessitat i de la conveniència de polítiques integrades d'energia i de medi ambient ja és comú en diverses institucions, com el Consell d'Europa, el qual «demana als estats membres i a les institucions de la UE que continuïn actuant per (...) impulsar i desenvolupar una política climàtica i energètica europea sostenible i integrada».⁹ El punt 28 del document diu en referència a l'objectiu esmentat prèviament que «Tenint en compte que la producció i la utilització d'energia són les principals fonts d'emissió de gasos efecte hivernacle, per assolir aquest objectiu es requereix un enfocament integrat de les polítiques en l'àmbit climàtic i energètic. La integració s'ha de dur a terme de manera que les dues polítiques es potenciïn recíprocament.» I en el punt 32 afirma que «El Consell Europeu destaca que la UE es compromet a transformar Europa en una economia d'alta eficiència energètica i amb baixes emissions de gasos efecte hivernacle». Sorpren que els governs de l'Estat i de la Generalitat no facin prou èmfasi en els criteris, recomanacions i normatives de la UE en matèria de canvi climàtic i energètica. Relacionar més les seves decisions i actuacions amb el marc europeu els proporcionaria més legitimitat i acceptabilitat social.

En la generació elèctrica, la reducció dràstica de GEH tècnicament es pot aconseguir amb la reducció del consum mitjançant mesures d'estalvi i d'eficiència (entre aquestes, la generació distribuïda i més pròxima a les àrees de consum), emprant les diverses fonts i tecnologies molt menys productores de GEH en estadi comercial que es comenten tot seguit.

- Renovables de flux, sense combustió: hidràulica fluent, eòlica, solar fotovoltaica, geotèrmica, marina (ones, mares, corrents).
- Renovables amb estocatge: hidràulica amb embassament, solar termoelectrica, combustió de biomassa i de residus.
- Renovables biològiques: hidrogen, biocarburants.
- Carbó net: captura i segrest del CO₂.

La generació electronuclear també redueix les emissions de GEH, però les seves emissions tèrmiques i radioactives, els importants problemes (residus, proliferació armamentística) i altres qüestions (seguretat, rendibilitat, dependència del combustible...) encara no resoltes passats més de 50 anys la fan desaconsellable quan considerem altres factors de sostenibilitat a més de les emissions de GEH. Entre les fonts i tecnologies energètiques que es troben en un estadi de RD podem considerar:

Mentre les fonts renovables no generin la necessària energia elèctrica, caldrà aprofitar de la millor manera els combustibles fòssils combinant les opcions disponibles:

- Millorar l'eficiència de la generació elèctrica
- Emprar els combustibles amb menys emissions específiques de GEH
- Aprofitar l'energia tèrmica produïda i no transformada en electricitat amb la cogeneració (electricitat i calor) i la trigeneració (electricitat, calor i fred)
- Reduir les pèrdues del sistema pels consums propis, el transport i la distribució, entre altres possibles mesures amb l'ampliació de la generació distribuïda.

És més eficient i lògic posar èmfasi a evitar el consum d'energia no estrictament necessària que a proveir de més energia, encara que sigui no contaminant i renovable. Això és més cert en el sector del transport, el més consumidor d'energia i emissor de GEH a Catalunya. És inconcebible que el litoral mediterrani de l'Estat no estigui ben connectat per ferrocarril amb Europa i que el gran volum de mercaderies i de turistes hagin d'utilitzar vehicles de carretera. I que els ports i aeroports de Catalunya no estiguin connectats a un bon servei de ferrocarril.

9. La traducció del text original és de l'autor.

Altres aspectes d'aquest sector es tracten al capítol corresponent.

Catalunya té pocs mecanismes polítics per poder influir significativament sobre molts dels mètodes de generació elèctrica. No disposa d'empreses importants de generació elèctrica local pròpies, no té competències en nuclear, ni en hidrocarburs, ni en la hidràulica dels principals rius (que transcorren parcialment fora de Catalunya), no disposa de carbó adequat ni de petroli o gas natural en quantitats significatives. Catalunya té la possibilitat (els recursos i les competències) per actuar en l'ús de moltes fonts renovables i en l'eficiència, en concret:

- *Electricitat renovable*: eòlica (parcs, miniparcs, marina), solar (fotovoltaica en sòls i cobertes, termoelectrica), hidràulica (embassaments actuals sense central elèctrica).
- *Calor renovable*: solar, geotèrmia (bomba de calor), biomassa i residus.
- *Biocarburants*: bioetanol (remolatxa, excedents de gra, fruita i vi), biodièsel (olis vegetals usats i greixos), oli cru (colza).
- *Cogeneració*: en les centrals termoelectriques i en instal·lacions industrials i de serveis.
- *Urbanisme i arquitectura*: polítiques d'eficiència valentes i coherents adaptades a les nostres condicions climàtiques i culturals, integrades amb totes les altres polítiques relacionades (ambientals, territorials, energètiques, mobilitat, serveis...).

Diversos estudis han demostrat la viabilitat d'assolir, a mitjà termini i disminuint el consum final amb mesures d'estalvi i d'eficiència, fins el 100% del subministrament energètic, o d'electricitat, calor o carburants, amb les fonts renovables i condicions de fiabilitat i cost assumibles¹⁰. Aquesta fita del 100% renovable mostra les enormes possibilitats de les fonts renovables i de les tecnologies existents actualment en el mercat. Poc importa ara si el límit realment pos-

sible és el 100% o el 80% quan estem en el 2,77% (taula 7). És molt usual que els recursos renovables d'energia resultin ser força superiors als imaginats abans d'iniciar-ne l'aprofitament a escala significativa.

Aquí no repetirem mesures ja plantejades en el primer *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* de 2005, ni moltes altres mesures publicades en diversos informes i mitjans fàcilment accessibles. Com ja ho hem indicat en el pròleg, en aquest informe actualitzarem i afegirem informació i dades sense repetir la ja publicada en l'informe de 2005. No ho repetirem perquè estem convençuts que la decisió d'iniciar mesures pertinents per mitigar apropiadament el canvi climàtic no depèn de repetir o ampliar llistes de possibles mesures, sinó del convenciment institucional de la necessitat ineludible de fer-ho. Ja hi ha prou informació sobre experiències reeixides. Aquí hem volgut ajudar a prendre consciència de la magnitud de les emissions i consums energètics, de la distància als compromisos i obligacions que tenim, de possibles conseqüències de no superar els reptes i dificultats que tenim per complir amb el nostre deure de mitigar el canvi climàtic.

La contribució de l'energia a la mitigació al canvi climàtic és una contesa que es pot comparar amb la de l'organització d'uns Jocs Olímpics. En primer lloc cal creure-hi, assumir les responsabilitats del moment i contagiar-ho a tota la societat. També cal establir un pla ampli, coherent i de futur, amb objectius i mitjans suficients, que inclogui la formació dels gestors i dels actors, i el suport internacional que calgui. Finalment, les actuacions s'han de dur a terme sense interrupcions i amb un bon seguiment.

La preocupació a Catalunya no hauria de ser complir els objectius del Pla d'energia vigent sinó eliminar les distàncies que ens separen dels compromisos ambientals i energètics que ens corresponen.

La Comissió Europea ja reconeixia en un document (COM (2006) 848 final) que «El canvi climàtic, la creixent dependència del petroli i d'altres combustibles fòssils, l'augment de les importacions i els costos creixents de l'energia estan fent vulnerables les nostres societats i economies. Aquests reptes demanen una resposta exhaustiva

10. XXII Conferència catalana per un futur sense nuclears i energèticament sostenible: escenaris i propostes energètiques 100% renovables, Barcelona 26/04/2008. <http://www.energiasostenible.org/sec.asp?id_link=142&id_up=5> [1/10/2009] García, J.L. [ed.] (2008). *Renovables 100% Catalunya*. Greenpeace.

i ambiciosa.»¹¹ I afegeix que «El repte és immens, però la meta proposada pot ser assolida amb determini i esforços concertats a cada un dels nivells de govern i pressuposant que la indústria energètica juga tota la seva part en aquest propòsit.» També exposa que:

És necessari establir uns principis clau pel marc de la futura política d'energia renovable. (...) la Comissió considera que aquest marc:

- s'ha de basar en metes de llarg termini obligatòries i l'estabilitat del marc polític, (...)
- ha de ser exhaustiu, i ha d'incloure especialment la calefacció i la refrigeració,
- ha de proporcionar esforços continuats per eliminar obstacles indesitjats per a la implantació de les energies renovables,
- ha de tenir en consideració els aspectes ambientals i socials (...).

És important destacar el que la Comissió Europea instava els estats membres i també les autoritats regionals i locals en el mateix document de 2006 ja citat, que adjuntem pel que aporta a aquest informe:

S'insta en particular els estats membres i/o les autoritats locals i regionals a:

- assegurar que els procediments d'autorització siguin simples, ràpids i justos, amb indicacions clares per a l'autorització que incorporin apropiadament per a l'autorització una finestreta única responsable de la coordinació administrativa dels procediments relacionats amb les fonts renovables d'energia;
- millorar els mecanismes de la planificació prèvia pels quals les regions i els municipis siguin requerits a assignar espais adequats per a les energies renovables;
- integrar les energies renovables als plans regionals i locals.

Per acabar, volem alertar que la introducció de vehicles elèctrics pot ocasionar impactes molt

diferents segons la font primària de l'energia emprada per generar l'electricitat que consumiran els vehicles. És una oportunitat única per impulsar fortament l'ús de les fonts renovables per proporcionar aquesta energia. Ha de ser imprescindible. Seria un greu error —augmentaria el consum de combustibles fòssils amb les corresponents emissions de GEH, o de nuclears, amb els impactes exposats abans— alimentar els vehicles elèctrics amb electricitat generada amb fonts no renovables. Per assegurar l'ús (gairebé) exclusiu de fonts renovables per a aquesta aplicació cal iniciar ja ara mateix les mesures administratives i tècniques adients.

17.9. Conclusions

1. La dependència de Catalunya de combustibles no renovables continua augmentant tant pel decreixement de la seva producció autòctona com pel creixement del consum d'aquest tipus de combustibles.

2. Els sectors del transport i de la generació d'electricitat són els que generaran més emissions de GEH segons les previsions de la revisió de 2009 del Pla d'energia de Catalunya 2006-2015 i els que s'allunyaran més del compliment dels compromisos d'emissions i de fonts renovables. La generació elèctrica preveu sobrepassar entre 3,17 i 4,71 vegades l'assignació de drets d'emissió de 2008, la qual cosa obligaria a comprar-ne els drets, amb el corresponent impacte econòmic.

3. L'increment de temperatura posarà més exigències al sistema energètic a Catalunya en termes de certs augments de la demanda, de reducció de rendiments, de la capacitat de generació elèctrica i de transport de les línies elèctriques, a més de les derivades de possibles aparicions més freqüents o intenses d'episodis extrems. No hem detectat actuacions d'adaptació a aquest nou escenari.

4. Les emissions de calor i d'humitat derivades de la combustió de combustibles contribuiran a incrementar la *temperatura de xafogor*, i com a conseqüència la disminució del confort o l'augment del consum de climatització.

5. La refrigeració del circuit termodinàmic de les centrals i equips de generació termoelèctrica aporta quantitats importants de calor a l'ambient

11. La traducció de l'original és de l'autor.

(aire, rius, mar), i agreuja els previsibles augments de temperatura ambiental. Les torres de refrigeració evaporen part del cabal dels rius en proporcions que a l'estiu poden ser importants.

6. L'estreta relació entre *energia i canvi climàtic* és actualment reconeguda i considerada en tots els àmbits. D'aquesta consideració no es desprèn, malauradament, que sigui suficient per superar els reptes climàtics i energètics que tenim al davant nostre. Encara falta transversalitat, metodologia i formació.

7. Des del treball per a l'*Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* de 2005 hem observat una millora en la disponibilitat de dades d'emissions de GEH i energètiques. No obstant això, l'actual agregació de dades —o la seva presentació en forma de percentatge en lloc de valors absoluts— no sempre en permet l'ús directe ni la comparativa, sense haver de recórrer a camins indirectes, a hipòtesis o a introducció de petits errors.

8. La revisió de 2009 del *Pla d'energia de Catalunya 2010-2015* incorpora les previsions d'emissions de GEH a les energètiques. D'aquesta informació, però, no se'n pot deduir el compli-

ment per part de Catalunya de les seves obligacions i responsabilitats d'emissions de GEH, de consums d'energia i de proporció de les fonts renovables.

9. Gran part de les previsions de consum d'energia total i de la proporció de fonts renovables de la revisió de 2009 del *Pla d'energia de Catalunya 2010-2015* no compleixen obligacions —o paràmetres establerts per als estats— de la Unió Europea (cogeneració) o de l'Estat espanyol (PER 2005-2010). Caldrà un gran esforç per assolir aquests complimentes.

10. L'adaptació prevista als paràmetres exigits a les emissions així com als consums i a la composició de l'energia pot generar altres impactes importants a curt termini o que hipotequin el futur, com un excés de capacitat de generació termoelèctrica sense cogeneració o l'operació d'instal·lacions nuclears més enllà de la seva autorització inicial.

11. No s'han observat polítiques integrades per fer front al compliment dels compromisos de mitigació del canvi climàtic i dels energètics, tal com demanen diverses institucions de la Unió Europea no només als estats membres sinó també a les regions i als municipis.

Glossari

Calor latent	Quantitat de calor bescanviada en un canvi de fase, per exemple de líquid a vapor. En aquest cas, la massa de vapor conté més energia que la líquida a la mateixa temperatura.
Calor sensible	Calor que ha ocasionat un canvi de temperatura.
Cicle combinat	Generació elèctrica amb dos cicles termodinàmics en cascada. Una turbina de gas acciona un generador elèctric. Els gasos que surten de la turbina entren a una caldera de vapor, aquest acciona la turbina de vapor i aquesta el segon generador elèctric.
Cogeneració	Generació, amb combustibles i en la mateixa instal·lació, d'electricitat i de calor, aprofitant la calor residual de la generació elèctrica.
Energia final	Energia subministrada al consumidor final.
Energia primària	Energia a l'inici de les diverses transformacions energètiques al llarg del cicle. En el cas de les fonts renovables de flux es considera l'energia elèctrica generada per aquestes.
Factor de capacitat	Relació unitària o percentual entre l'energia aportada per un equip o central de generació i l'energia que hauria aportat en cas d'operar totes les hores de l'any a la potència nominal de l'equip o central.
Geotèrmia	Energia tèrmica del subsòl.
Hores equivalents	Aplicable a equips o centrals de generació. Hores que hauria operat a potència nominal al llarg d'un any per produir la mateixa quantitat d'energia que la proporcionada realment.
Producció bruta	Producció del conjunt d'equips productors d'una instal·lació o central. Part d'aquesta producció s'utilitzarà per cobrir les necessitats d'energia de la instal·lació o de la central.
Règim especial	Règim aplicat a la generació elèctrica en petites centrals de cogeneració o amb fonts renovables.
Règim ordinari	Règim aplicat a la generació elèctrica en grans centrals.

Abreviatures i sigles emprades

CN	Central nuclear.
Electrosolar	Generació elèctrica directa per la radiació solar.
ER	Energia/es renovable/s.
GWh	Gigawat hora. Unitat d'energia genèrica, equivalent a mil megawats hora.
HE	Hidroelèctrica.
ICAEN	Institut Català d'Energia.
IDAE	Instituto de Diversificación y Ahorro Energético, amb seu a Madrid.
IER	Escenari intensiu en eficiència i energies renovables, en el Pla d'energia de Catalunya.
kTEP	Milers de TEP.
PER	Plan de energías renovables, elaborat per l'IDAE.
TE	Termoelèctric/a.
TEP	Tona de petroli equivalent en poder calorífic.
TERMOSOLAR	Generació elèctrica per la radiació solar amb un cicle tèrmic.

Referències

- COL·LEGI DE CAMINS, CANALS I PORTS DE CATALUNYA. «Posicionament del Col·legi de Camins sobre el tema de l'energia», *Document de posicionament*; Barcelona, 1 d'abril de 2009. <<http://www.camins.cat/index.php?doc=Actualitat>> [1/10/2009]
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. «Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. Renewable energy Road Map. Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future». COM(2006) 848 final. Brussel·les. (10.1.2007).
- CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. «Conclusiones de la Presidencia». 7224/1/07 REV1, CONCL1. Brussel·les. (2 de maig de 2007).
- DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE <http://mediambient.gencat.net/cat/el_medio/C_climatic/inici.jsp> [1/10/2009]
- DÍEZ, Irene [et al.] (2009). «Aspectos sociales y ambientales del debate sobre los biocarburantes». A: *Informe Conama 9: el reto es actuar*; Madrid: Fundación CONAMA.
- DOLESCHKE, Anja [et al.] (2007). *Catalunya Solar: el camí cap a un sistema elèctric 100% renovable a Catalunya*; Barcelona/Leipzig. <http://www.energia-sostenible.org/sec3.asp?id_link=21&rid_up=17> [1/10/2009]
- GARCÍA, Xavier [et al.] (2006). *Renovables 100%: un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica*. <<http://www.greenpeace.org/espana/reports/informes-renovables-100>> [1/10/2009]
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2009a). *Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015. Revisió 2009*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://www.gencat.cat/economia/doc/doc_47900574_1.pdf> [22/02/2010]
- (2009b). *Aigua i canvi climàtic*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, 2009. <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P17200198371242729159775&_nfls=false> [22/02/2010]
- (2008a). *Convenció catalana del canvi climàtic: Marc de referència. Resum*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://mediambient.gencat.net/cat/el_medio/C_climatic/occc/html/index_occc.html> [1/10/2009]
- (2008b). *Comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Informes anuals de seguiment d'emissions. Període de notificació 2008*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://mediambient.gencat.cat/cat/el_medio/atmosfera/comerc_emissio/doc/vegeh_08.pdf> [1/10/2009]
- (2006). *Pla de l'energia de Catalunya 2006-2015*; Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://www.gencat.cat/economia/ambits/energia_mines/energia/pla_energia/> [1/10/2009]
- IDAE. *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010* (2005). Madrid: IDAE. <<http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/idpag.14/releategoria.1153/relemenu.12>> [1/10/2009]
- MARTÍNEZ, Fernando (2009). «La crisis, una oportunidad para la sostenibilidad». A: *Informe Cona-*

- ma 9: *el reto es actuar*; Madrid: Fundación CONAMA.
- MARZO, Mariano (2008). «La energía en el siglo XX». A: *Jornada sobre canvi climàtic i fonts d'energia als XXI.* Barcelona: Il·lustre Col·legi Oficial de Geòlegs. Delegació de Catalunya. <<http://www.colgeocat.org/>> [1/10/2009]
- OZCÁRIZ, Jorge (2008). *Cambio global. España 2020: El reto es actuar*; Madrid.<<http://www.conama9.org/conama9/>> [1/10/2009]
- RAMOS, J. (coord.) (2007). *Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana (AMEEC)*; Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. <<http://www.iec.cat/gc/ViewPage.action?siteNodeId=987&languageId=1&contentId=5862>> [1/10/2009]
- SOLANAS, T. [et al.] (2009). *34 kg de CO₂*; Barcelona: Generalitat de Catalunya.

18. Indústria

Ramon Garriga, exconseller del CADS

Ramon Garriga Saperas és enginyer industrial especialitzat en tècniques energètiques. Ha estat degà del Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya i president de l'Institut Català de Tecnologia. És expert en estalvi d'energia a la indústria mitjançant l'ús racional del vapor. Conseller d'empreses del TÜV Rheinland a Espanya, n'ha estat conseller delegat i director general. Entre les activitats d'aquestes empreses cal esmentar la inspecció i la certificació ambiental. Ha estat vocal del Consell per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS) durant els quatre primers anys d'activitat d'aquest organisme.

Resum	807
18.1. Introducció i comparació amb el primer informe	809
18.2. Inventari d'emissions a Catalunya	811
18.2.1. Emissions registrades	813
18.2.2. Emissions difuses	815
18.3. Mesures que s'han pres o que cal prendre en un futur pròxim	815
18.3.1. De tipus general	816
18.3.1.1. Eficiència energètica	816
18.3.1.2. Ús de les millors tècniques disponibles	821
18.3.1.3. Combustibles alternatius	822
18.3.1.4. Sensibilització social	823
18.3.2. De tipus específic en sectors de la Directiva	824
18.3.2.1. Cement	824
18.3.2.2. Cogeneració i altres combustibles	826
18.3.2.3. Refineries	826
18.3.2.4. Acer	826
18.3.2.5. Vidre	827
18.3.2.6. Paper	827
18.3.2.7. Calç i ceràmica	827
18.3.3. De tipus específic en sectors d'emissions difuses	828
18.3.3.1. Indústria química	828
18.3.3.2. Indústria de la construcció	828
18.4. Altres iniciatives que han d'ajudar a la reducció d'emissions	831
18.4.1. Mercat del CO ₂	831
18.4.2. Recerca i innovació	833
Referències	833

Resum

En els darrers anys, la indústria catalana ha fet un esforç important per reduir les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle. Això ha permès complir amb els valors assignats a les indústries sotmeses en la Directiva europea de comerç d'emissions i també aconseguir reduccions de les emissions anomenades difuses. De tota manera, tenint en compte les reduccions importants que cal obtenir en els propers anys, cal insistir tant en la millora de l'eficiència energètica, la mesura que més ha ajudat a les reduccions dels últims anys i que ha de continuar ajudant en els pròxims, com en l'ús de les millors tècniques disponibles i en el de combustibles alternatius.

Un foment de la innovació dirigida a aquestes finalitats és imprescindible, com ho és també la sensibilització tant dels industrials com de la població en general. Caldrà canviar alguns paradigmes, com, per exemple, els relacionats amb l'habitatge i l'edificació en general, que haurà de ser molt més sostenible del que ho és ara.

Caldrà que hi hagi molt treball conjunt de la indústria, les administracions i els centres de recerca per anar assolint els objectius europeus que, recordem-ho, són disminuir les emissions de l'any 2020 en un 20% en relació amb les de l'any 1990 (any base).

18.1. Introducció i comparació amb el primer informe

La síntesi del capítol corresponent a la indústria del primer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya deia que les proves de l'existència del canvi climàtic eren molt recents, i per això ni totes les organitzacions ni tots els sectors econòmics estaven preparats, encara, per fer-hi front. Aquest capítol pretén ser una continuació del corresponent a la indústria del primer informe, sense insistir en aquells aspectes que pràcticament no han canviat i posant de manifest els canvis més rellevants que s'han produït.

En els cinc anys que han passat des d'aquell moment, tot i que és un lapse de temps curt per a la indústria, podem albirar un canvi notable. No és el mateix en tots els sectors, però tots han iniciat actuacions tendents a reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle. La tasca de sensibilització que s'ha fet des de les instàncies públiques hi ha tingut un paper important, principalment en els sectors no sotmesos a la Directiva europea de comerç d'emissions, però, a més de l'augment dels preus de l'energia, el que més ha empès a posar-se a treballar en els sectors sotmesos a aquesta Directiva ha estat la necessitat de complir amb uns topalls pel que fa a les emissions emeses, sota el risc d'haver de comprar drets si es superaven.

En canvi, no s'observa encara cap preocupació en l'efecte que aquest canvi pugui tenir en el subministrament de matèries primeres si s'exceptua l'energia, que és objecte d'un altre capítol, la crisi de la qual, acompanyada de les noves condicions del mercat elèctric, ha estat un dels esperonadors més efectius per avançar en les polítiques per encarar el canvi climàtic. Tampoc no s'observa cap pressió de la indústria sobre els responsables de la construcció de les infraestructures que han de permetre els moviments de mercaderies sense problemes. És una situació que es viu a tot Europa, on, en general, hi ha polítiques de mitigació, però les d'adaptació tot just s'estan començant a elaborar, en el millor dels casos.

L'únic sector en què alguna gran empresa introdueix canvis per evitar les conseqüències d'una sequera més important o d'inundacions de

llocs propers al mar és la indústria agrària. Per exemple, s'estan plantant vinyes en llocs alts com la Cerdanya i s'hi estan provant les varietats, les distàncies entre ceps o les condicions de cultiu més idònies. De tota manera, s'ha de considerar un cas aïllat i totalment experimental.

El canvi d'actitud abans esmentat pel que fa a la mitigació ha permès fer una primera anàlisi que hauria de servir de referència per a edicions posteriors. En fer comparacions, no es podrà deixar de banda la greu crisi econòmica que va començar de fet després de l'estiu del 2008 i que no s'espera que comenci a remetre fins l'any 2011. La disminució d'activitat econòmica ha provocat, sense cap mena de dubte, una disminució de les emissions. Aquest fet, juntament amb la necessitat de reduir dràsticament les emissions a partir del 2012 per arribar al 20% de reducció l'any 2020 i a molt menys l'any 2050 fan que de cap manera no es pugui abaixar la guàrdia.

Després de redactar aquest capítol i abans de la publicació de l'Informe, ha tingut lloc l'esmentada reunió, amb un resultat millorable. Cal esperar que en futures reunions s'arribi als acords que ara no han estat possibles. Per això no esmenem els objectius apuntats, que, a més, la UE manté, amb les salvaguardes necessàries perquè les seves empreses no perdin competitivitat en els mercats internacionals.

En els últims cinc anys, la millora en l'ús eficient de l'energia ha representat un estalvi important de les emissions, i queda encara molt camí per recórrer. També és una de les fonts d'estalvi a què es fa més referència en el Reial decret 1370/2006, de 24 de novembre, pel qual s'aprova el Pla nacional d'assignació de drets d'emissió de gasos d'efecte hivernacle 2008-2012.

La raó principal per la qual s'ha començat per l'estalvi energètic és que, a més d'estalviar emissions, representa un estalvi econòmic directe per a la indústria quan disposa de tecnologies noves i de fàcil aplicació. Aquest fet dona una bona pista a l'hora de pensar què cal fer per continuar reduint les emissions: fer la recerca necessària que permeti introduir modificacions als processos que vagin en el sentit de l'estalvi, tant econòmic, immediat o a mitjà termini, com de les

emissions. En molts casos, principalment en les empreses mitjanes i petites, ni tan sols no cal innovar, sinó que basta fomentar l'aplicació correcta de les tecnologies disponibles.

En parlar d'estalvi econòmic no es pot perdre de vista que les polítiques de preus, conseqüència de tenir en compte tots els costos inherents a l'ús dels diferents tipus de combustible, a les taxes que es puguin incorporar, al cost dels drets d'emissió de CO₂ que eventualment s'hagin de comprar i a altres factors, poden fer rendibles canvis en els processos que en aquest moment encara no ho són, de rendibles. Com que les innovacions no s'incorporen immediatament, cal des d'ara definir els camps als quals s'haurien de dedicar esforços de recerca i innovació. Per això s'ha dedicat un capítol a altres mesures que poden ajudar a l'estalvi i s'hi parla del mercat de CO₂ i de la innovació.

També es dedica atenció a la sensibilització social. Es deia a la síntesi del primer informe que s'havia de sensibilitzar tota la població i que la indústria havia de prendre un paper de lideratge, tot desenvolupant un catàleg d'accions que estalviïn diners, millorin la productivitat i protegeixin el medi ambient.

Serà més fàcil si es valora i es premia l'esforç de la indústria per part de la comunitat, cosa que requereix formació i divulgació. Quan el comprador premii l'esforç fet per un fabricant o per un sector industrial s'haurà fet un pas important en la reducció d'emissions.

Per fer-ho d'una manera eficaç, en primer lloc cal que la ciència (i tot el que s'hi relaciona) no sigui aliena al món intel·lectual i sigui considerada cultura igual com ho són altres disciplines. Com demana Martí Domínguez en l'article «Comunitat científica i comunitat cultural» del número 3 de la revista *Cultura* (Domínguez, 2009) «És del tot necessari que el pensament científic estiga més present en el món intel·lectual català, que hi interaccione en tots els seus camps i done els seus fruits. És l'únic camí que ens pot garantir el progrés de la societat».

Pensem que Catalunya podria ser un exemple en el tractament de la problemàtica inherent al canvi climàtic, ja que per això cal potenciar valors que tradicionalment no són aliens a la cultura catalana.

Si bé pot semblar una proclama voluntarista, no es pot perdre de vista, per exemple, que el percentatge d'empreses catalanes amb certificació mediambiental ha superat durant molt temps el de la majoria de països europeus.

Pel que fa a les emissions, d'una manera general podem dir que la indústria ha fet els deures. Ha millorat. És el moment que els que estan més endarrerits ho facin i que els més avançats conservin l'empenta.

Cal constatar que, si no hi hagués un repartiment gratuït de drets d'emissió per part del Govern de l'Estat, algun sector industrial estaria fora dels límits establerts, i a més, la Unió Europea ha fixat reduccions importants per al pròxim cicle amb l'objectiu 20/20/20 per a l'any 2020 (20% de millora de l'eficiència energètica, 20% de disminució de les emissions en relació amb l'any base i 20% de participació de les energies renovables en el consum total d'energia).

Cal també que sectors les emissions dels quals no estan contingudes en l'annex 1 de la Llei 1/2005 i en les seves futures ampliacions entrin en el joc de disminuir-les. Per aquest motiu, a més del que es diu d'una manera general a l'apartat d'eficiència energètica, s'ha fet un esment especial a una indústria en la qual hi ha molt per fer: la indústria de la construcció. Si bé una bona part d'aquest estalvi va lligat als sistemes d'il·luminació i condicionament d'aire, no es pot perdre de vista la gran influència del projecte constructiu i dels materials emprats. A més, és la indústria la que produeix les lluminàries, la maquinària de condicionament i els electrodomèstics, entre altres equipaments, i és, per tant, on hi ha possibilitats importants de negoci a la vegada que es col·labora en l'estalvi d'emissions.

També es fa referència específica a la indústria química, ja que la Directiva 2009/29/CE, de 23 d'abril, per la qual es modifica la Directiva 2003/87/CE, per perfeccionar i ampliar el règim comunitari de comerç de drets d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, incorpora al mercat europeu de drets d'emissions, a més del sector de l'aviació, algunes instal·lacions del sector químic.

Com a camins a emprendre a curt termini per disminuir les emissions, a més de la millora de l'eficiència energètica, s'ha considerat la valorit-

zació de residus tal com es fa en els països més avançats d'Europa, i l'ús generalitzat de les millors tècniques disponibles de les quals es té prou coneixement, per a la implementació de les quals, però, calen polítiques decidides d'estímul, de preus, de divulgació...

La profunda crisi de l'economia que s'ha posat de manifest a partir del 2008, amb la consegüent reducció de l'activitat industrial, comportarà una reducció de les emissions (en alguns sectors, com el del ciment i la ceràmica, les reduccions d'activitat durant l'any 2009 han superat el 30% i en algun cas concret arriben al 60%). Tanmateix, això no hauria d'influir en la millora de l'eficiència energètica, ja que aquesta millora va associada a un estalvi econòmic. Calen polítiques decidides de promoció i ajut a la implantació d'aquestes millores per evitar de frenar un procés que s'ha iniciat amb prou empena i que hauria de continuar malgrat els esforços que ha de fer la petita i mitjana empresa ja només per sobreviure.

Finalment, en el decurs del capítol es comenten iniciatives (no totes les existents) que han d'ajudar en l'objectiu que Catalunya compleixi, i si es pot amb escreix, amb el compromís de col·laborar, en la mesura que se li assigni, en la reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

Una iniciativa important de referència és el *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012* editat al setembre del 2008. En qualsevol cas, i com a punt final d'aquest resum, es constata que la indústria catalana, si bé encara ha estudiat poc com la pot afectar l'escalfament de l'atmosfera com a conseqüència de les activitats humanes, ha emprès amb prou força el camí de reduir la seva participació en aquest procés d'escalfament.

18.2. Inventari d'emissions a Catalunya

Abans d'entrar en l'exposició de les emissions a Catalunya, val la pena fer un repàs de les emissions mundials per veure la participació dels diferents sectors. Segons dades de l'IEA (International Energy Agency) *World Energy Outlook 2008*, l'any 2007 es van emetre un total de 26,6 Gt de CO₂ repartides de la manera següent:

Generació elèctrica	10,9	42%
Transport	5,4	20%
Residencial, serveis, agricultura	3,3	12%
Altres	1,8	7%
Indústria	5,2	19%

Aquest últim sector, que desenvolupem en aquest capítol, es divideix de la manera següent:

Acer	1,6	30%
Ciment	0,9	18%
Química	0,8	16%
Alimentació i tabac	0,2	4%
Paper	0,2	3%
Metalls no ferruginosos	0,1	2%
Maquinària	0,1	2%
Altres	1,3	25%

Es veu que a nivell mundial la producció d'acer és la que més emissions produeix, seguida de la de ciment i de la indústria química. Tot i això, les emissions d'aquesta última fins ara no han estat incloses en el règim comunitari de comerç de drets d'emissions. La Directiva 2009/29/CE, de 23 d'abril, incorpora a aquest mercat algunes instal·lacions del sector químic.

A Catalunya els percentatges de participació dels diferents sectors no coincideixen amb els valors a nivell mundial, com és lògic, ja que el conjunt industrial és diferent.

Segons les dades publicades al capítol 6 de l'informe núm. 8 del CADS (Alcàntara, 2009), les emissions acumulades en el període 1990/92 al sector primari i degudes a l'ús d'energia representen un 5,2% del total; les de la indústria (incorporant la producció d'energia) representen el 32,1%; els serveis, el 5,9%; el transport, el 46,5%; i l'ús domèstic, el 10,4%.

Els valors corresponents als mateixos sectors acumulats durant el període 2003/05 són el 4,7%, el 29,0%, el 9,0%, el 46,1% i l'11,2%.

Les variacions no són importants. Les diferències es poden deure al menor pes del sector primari, al fet que algunes actuacions que es consideraven industrials han passat al sector serveis, i al fet que hi ha més consum domèstic a causa de l'augment d'equipament de tot tipus a la llar.

En el mateix treball ara esmentat es fa l'avaluació del valor absolut de les emissions degudes a l'ús de l'energia en els mateixos triennis i es constata l'augment important de les emissions a Catalunya en els anys anteriors al 2005, que és el primer en què es van controlar les emissions dels sectors industrials que seran analitzats amb més detall en la secció 18.2.1.

En efecte; si es comparen les emissions del trienni 1990/92 amb les del trienni 2003/05, en el sector primari es passa de 1.336,7 milers de tones a 2.062,4 (augment del 54,3%); en la indústria, de 8.304,7 a 12.696,8 (52,8%); en els serveis, de 1.531,4 a 3.953,4 (157%); en el transport, de 12.034,3 a 20.217,3 (68%), i en el sector domèstic, de 2.700,7 a 4.929,9 (82,5%).

Globalment es passa de 25.907,8 ktones a 43.841,8 ktones, amb un augment del 69,2%.

Ha semblat interessant transcriure els valors anteriors, elaborats a partir de dades subministrades per l'ICAEN relatives als consums de carbó, petroli, SDP importats i gas natural, segons manifestacions dels autors, ja que permeten veure'n l'evolució. Ara bé; aquests valors corresponen a emissions degudes a l'ús d'energia. Es donen a continuació les dades de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, actualitzades al mes de juny del 2009 (<http://www.gencat.cat/mediambient>), l'estimació de les quals s'obté dels inventaris dels onze sectors SNAP97.

Els valors difereixen molt, ja que els segons són valors d'emissions totals. A partir d'ara, i per fer comparacions de futur, es farà referència als valors avaluats per l'Oficina.

Comentaris:

1. Cal prendre nota de les dades de l'any base per poder fer comparacions futures. És l'any

1990 pel que fa a CO₂, CH₄, i N₂O i l'any 1995 pel que fa a les emissions de HFC, PFC i SF₆.

Un altre punt de referència serà la mitjana de les emissions dels gasos CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC i SF₆ en el període de compliment de Kyoto (2008-2012).

Aquesta mitjana es veurà afectada per la disminució de l'activitat econòmica conseqüència de la crisi iniciada el 2008.

2. El processament de l'energia és el capítol que produeix més emissions i, a la vegada, el que més ha augmentat en percentatge. Cal, doncs, dedicar-hi una atenció especial. Aquest capítol incorpora les activitats de combustió que es produeixen en les indústries del sector energètic, en les indústries manufactures i de la construcció, en el transport i en altres sectors industrials, i també incorpora les emissions fugitives dels combustibles, tant dels sòlids com del petroli i del gas natural.

3. Les emissions de processos industrials no energètics fan referència a les que es produeixen com a conseqüència dels processos industrials, però no en la combustió, com, per exemple, les emissions procedents de reaccions químiques de processos de producció.

4. El compromís del protocol de Kyoto pel que fa a Catalunya i per al període 2008-2012 és que no s'han de superar en més d'un 37% les emissions de l'any base. De la taula se'n dedueix que l'increment de les emissions és d'un 43%. Cal, doncs, un esforç suplementari, i més tenint en compte que aquests valors han de baixar per assolir l'objectiu de disminuir-les en un 20% l'any 2020 en relació amb l'any base, sense prendre com a estructurals les baixades que segurament es produiran en una conjuntura de crisi econòmica.

Sectors/emissions (kt CO ₂ equivalent)	any base	1990	1995	2000	2005	2006	2007
Processament d'energia	26.169	26.169	31.698	34.714	43.946	42.298	42.556
Processos industrials (no energètics)	7.169	5.019	7.472	9.706	5.991	5.914	5.935
Ús de dissolvents i altres productes	245	245	226	285	265	270	296
Agricultura	5.061	5.061	5.254	5.956	5.591	5.509	5.584
Tractament i eliminació de residus	1.869	1.869	2.587	3.078	3.405	3.531	3.646
Total	40.513	38.363	47.236	53.739	59.198	57.523	58.017
Percentatge respecte any base	0 %	- 5 %	17 %	33 %	46 %	42 %	43 %

Taula 1. Estimació d'emissions totals a Catalunya de l'any base a l'any 2007.

Sectors/emissions (kt CO ₂ equivalent)	any base	1990	1995	2000	2005	2006	2007
Processament d'energia	26.169	26.169	31.698	34.714	43.946	42.298	42.556
a. Activitats de combustió	25.809	25.809	31.201	34.192	43.336	41.978	42.317
1. Indústries del sector energètic	3.848	3.848	3.755	4.897	9.145	7.964	8.123
2. Indústries manufactures i de la construcció	8.162	8.162	10.577	11.201	13.423	12.853	12.320
3. Transport	10.380	10.380	11.903	13.347	15.047	15.763	16.315
4. Altres sectors	3.420	3.420	4.966	4.747	5.721	5.398	5.558
5. Altres	0	0	0	0	0	0	0
b. Emissions fugitives dels combustibles	360	360	496	522	610	320	239
1. Combustibles sòlids	71	71	88	70	54	62	53
2. Petrol i gas natural	289	289	408	452	556	258	187

Taula 2. Estimació d'emissions per sectors a Catalunya de l'any base a l'any 2007 en processament de l'energia.

El valor elevat del processament d'energia fa necessari detallar-lo més (<http://www.gencat.cat/mediambient>).

1. És rellevant verificar l'elevat valor de les emissions degudes al transport, que és objecte d'un capítol específic.

Inclouen les emissions de l'aviació civil (domèstic), transport per carretera, per ferrocarril, marítim (nacional) i altres fonts mòbils i maquinària que no inclou la del sector de l'agricultura, de la silvicultura i de la flota pesquera nacional.

2. Les indústries del sector energètic són les que més han incrementat les emissions respecte a l'any base (un 111%), seguides del transport (57%) i de les indústries manufactures i de la construcció (51%). El sector energètic també és objecte d'un capítol específic.

3. Els increments dels altres capítols de la taula 1 que no han estat detallats en la taula

anterior són d'un 17% pels processos industrials no energètics, del 21% per l'ús de dissolvents i altres productes, del 10% en l'agricultura i del 95% pel tractament i l'eliminació de residus.

Dels residus se'n parla en capítol a part, i en aquest també tindran un tractament específic per la importància que pot tenir la seva valorització per part d'algun sector industrial amb emissions incorporades al mercat europeu de drets d'emissions.

18.2.1. Emissions registrades

Amb aquest nom s'indiquen les corresponents a les indústries relacionades a l'annex 1 de la Directiva 2003/87/CE de 13 d'octubre per la qual s'estableix un règim per al comerç dels drets d'emissió de gasos d'efecte hivernacle a la UE, corregida per la Directiva 2009/29/CE de 23 d'abril (DOUE). L'anomenarem el sector de la Directiva.

Les emissions no registrades en aquest capítol s'anomenen, per simplificar, *emissions difuses*, tot i

Sector	Any 2005	Any 2006	Any 2007	Any 2008
Elèctriques	5.816.725	5.033.612	5.180.189	5.052.680
Cog/Combustió	3.002.840	3.655.861	3.811.286	4.398.003
Refineries	2.832.719	2.784.072	2.836.669	2.620.212
Calç	286.602	326.489	317.826	301.063
Acer	266.720	277.375	286.915	263.837
Ciment	6.314.544	6.168.807	6.025.335	4.905.729
Vidre	412.088	413.854	377.593	363.462
Ceràmica	573.656	550.017	564.320	372.173
Paper	555.936	548.441	537.989	536.676
Total	20.061.830	19.758.528	19.938.124	18.813.835

Taula 3. Evolució d'emissions: primer període de comerç 2005-2007 i any 2008.

que aquest nom no seria aplicable a aquelles emissions que, independentment del seu volum, puguin ser mesurades de manera individualitzada.

En primer lloc, val la pena constatar l'evolució de les emissions globals del sector de la Directiva en els últims quatre anys, segons consta en el document *Comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. Informes anuals de seguiment d'emissions. Període de notificació 2008*¹ de la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

1. Els percentatges de participació de cada un dels apartats són: producció d'electricitat, 27%; ciment, 26%; cogeneració/combustió, 23%; refineries, 14%, i els altres sectors (calç, acer, vidre, ceràmica i paper) estan per sota del 3%.

2. Pel que fa a les evolucions, es constata que, amb l'excepció de la cogeneració/combustió, que té un augment important pròxim al 50%, a causa de la posada en servei de noves instal·lacions i d'un petit augment en la producció de calç, els altres capítols experimenten descensos, alguns dels quals són notables, com el de la ceràmica, que es queda en un 65%, o el del ciment, que ho fa en un 78%.

Abans d'analitzar les dades corresponents a l'últim any, cal fer un comentari.

Els compromisos adquirits pel Govern d'Espanya relatius al canvi climàtic exigeixen que per al període 2008 - 2012 no es superin en més d'un 37% les emissions de l'any base, malgrat que es pensi que hi ha d'haver un augment de la producció d'energia i, en general, d'activitat econòmica (ja s'ha dit i repetit que la crisi pot fer que l'augment global d'activitat econòmica en aquest període no sigui la prevista quan es va fer l'assignació d'emissions). Aquest percentatge s'obté de sumar, al 15% que es deriva de Kyoto, un 2% que han d'eliminar de més els mecanismes naturals d'absorció i un 20% en crèdits de carboni procedents dels mecanismes de flexibilitat del protocol de Kyoto.

Aquests crèdits s'han repartit gratuïtament, excepte en el sector productor d'electricitat, però

ja es comentarà aquest fet amb més detall en un altre apartat d'aquest capítol. No és clar què es podrà fer en un futur, però és cert que la UE vol reduir les emissions l'any 2020 en un 20% respecte a l'any base.

Per assolir-ho, la Unió Europea ja ha reaccionat amb el seu Paquet Energia i Clima, aprovat a finals del 2008.

Si no es prenen mesures per obtenir reduccions importants de les emissions, o bé caldrà incorporar-se a plans sectorials de caire global o bé caldrà adquirir drets d'emissió de CO₂ amb el consegüent encariment dels productes afectats. El descens temporal degut a la crisi no hauria d'entorpir el procés d'incorporació d'aquestes mesures.

Les emissions que preveu la Directiva europea en una primera etapa i que recullen les lleis 2005/1 i el Reial decret 1370/2006 de 24 de novembre, modificat pel Reial decret 1402/2007 de 29 d'octubre, són les de CO₂. Les dades de Catalunya, donades pel Departament de Medi Ambient, corresponents a l'any 2008, primers valors corresponents al període 2008-2012, són els de la taula 3, més detallada en la 4.

Cal recordar que els valors de referència són conseqüència de les dades obtingudes en els anys de prova (2005/2007) i dels compromisos adquirits per l'Estat espanyol, que ha assignat unes emissions màximes² a les diferents instal·lacions industrials.

1. Els valors de la taula s'han obtingut amb els subministrats, una vegada certificats, per 185 instal·lacions diferents. L'any 2007 les instal·lacions llistades van ser 188; l'any 2006 foren 186 i l'any 2005 foren 143.

2. La producció d'energia elèctrica (sense cogeneració) és l'únic sector que emet per sobre de l'assignació malgrat que hi ha un lleuger descens en el valor absolut del CO₂ emès.

3. Els sectors que semblarien més lluny d'esgotar les assignacions són «Altres instal·lacions de combustió», «Paper» i «Ciment» seguits d'«Acer».

4. Tot i una certa bondat dels valors mitjans, cal constatar que més d'un 30% de les instal·lacions de cogeneració superen l'assignació i que

1. Vegeu-lo a http://www.mediambient.gencat.cat/cat/el_medi/atmosfera/comerc_emissio/doc/vegeh_08.pdf.

2. Ídem nota 1.

Sector	Nombre d'instal·lacions	Emissions 2008	Assignació 2008	Assignació - emissions 2008	Declaracions amb emissions superiors a l'assignació
Energia elèctrica	8	5.052.680	2.487.798	2.564.882	8
Cogeneració	49	3.877.915	4.463.468	-585.553	16
Altres inst. de combustió	41	520.088	687.333	-167.245	7
Refineries	2	2.620.212	2.803.148	-182.936	0
Acer	1	263.837	321.117	-57.280	0
Calç	4	301.063	344.042	-42.979	1
Ciment	6	4.905.729	6.200.610	-1.294.881	0
Vidre	9	363.462	409.498	-46.036	2
Ceràmica	37	372.173	555.636	-183.463	4
Paper	28	536.676	685.591	-148.915	3
Total	185	18.813.835	18.958.241	-144.407	41

Taula 4. Resum de les declaracions del 2008.

aquest percentatge és del 25% en la producció de calç, supera el 20% en les fàbriques de vidre, queda una mica per sota en altres instal·lacions de combustió i és del 10% en indústries ceràmiques i papereres.

18.2.2. Emissions difuses

Les emissions de la Directiva representen a Catalunya un 35% de les emissions totals. Les altres emissions (que per simplificar s'han anomenat difuses) han representat els següents valors en els anys 2005, 2006 i 2007 (<http://www.gencat.cat/mediambient>):

Comentaris:

1. Els valors del transport són molt rellevants i, a més, no deixen de créixer. És, per tant, un sector clau pel que fa a les emissions difuses.

2. A la taula es donen conjuntament els valors corresponents al sector industrial (no-di-

rectiva) i els corresponents a les institucions, serveis i habitatge. Més endavant dedicarem especial atenció a la indústria relacionada amb la construcció i l'habitatge, per les possibilitats de millora que ofereix i perquè, a la vegada, és una font de sensibilització social molt important.

3. Tampoc no han deixat de créixer les emissions corresponents als residus, mentre que les degudes a l'agricultura es poden considerar estables i amb molt poc augment amb relació a l'any base.

4. Atesa la seva importància, cal definir programes per disminuir les emissions difuses. En aquest sentit, l'administració catalana està implementant diferents programes d'estímul.

18.3. Mesures que s'han pres o que cal prendre en un futur pròxim

Tot i que el mercat de l'energia ha tingut un paper important en l'esforç que han fet moltes

Sectors/emissions (kt CO ₂)	any base	2005	2006	2007
Sector industrial (no directiva) i institucional, serveis, habitatge	8.377	13.536	11.666	11.280
Transport	10.907	15.730	16.467	17.034
Emissions fugitives dels combustibles	360	610	320	239
Dissolvents	245	265	270	296
Agricultura	5.061	5.591	5.509	5.584
Residus	1.869	3.405	3.531	3.646
Total no directiva	26.819	39.137	37.764	38.079

Taula 5. Estimació d'emissions del sector no-directiva a Catalunya els anys base, 2005, 2006 i 2007.

empreses per reduir el consum i, per tant, les emissions, el comportament de la indústria radicada a Catalunya, pel que fa al control i reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, també està determinat per l'establiment a nivell europeu del mercat d'emissions de CO₂ i per la regulació estatal derivada d'aquesta directiva.

Per als sectors industrials afectats per la Directiva del Comerç d'Emissions, aquesta reducció s'ha convertit en imperiosa i en més d'un cas ha representat inversions importants. Per als grans grups industrials, aquestes inversions no han representat cap problema insoluble, però per a les empreses petites i mitjanes l'esforç ha estat molt gran. A més, alguns d'aquests grups importants, encara que la seva activitat estigui radicada a Catalunya, tenen els centres de decisió en altres llocs i, per tant, la seva estratègia en matèria de canvi climàtic té menys rellevància quan es tracta d'analitzar el comportament de les empreses catalanes enfront d'aquest canvi climàtic.

L'Administració catalana té un paper important i un cert marge de maniobra a l'hora d'impulsar mesures a les empreses mitjanes i petites no sotmeses al mercat europeu d'emissions, afegint sempre a l'objectiu ambiental el de millora de la competitivitat de les empreses.

En aquest apartat es consideren en primer lloc mesures de tipus general, començant per l'eficiència energètica. Tot i que la major part dels sectors sotmesos al comerç d'emissions, amb alguna excepció, tenen poc a guanyar en aquest aspecte, ja que havien implementat mesures abans de l'inici del període de prova de tres anys, les petites i mitjanes empreses, especialment les no subjectes a la Directiva de comerç d'emissions, tenen encara un llarg camí per recórrer.

A continuació es parla de les millors tècniques disponibles i dels combustibles alternatius, sistemes de millora que es tenen en compte principalment per als sectors sotmesos al comerç d'emissions, i de quina implementació pot tenir lloc, en el cas de petites i mitjanes empreses, mitjançant processos d'associació i col·laboració entre empreses d'un mateix sector. En segon lloc s'esmenten mesures de tipus específic per a sectors compresos en la Directiva de comerç d'emissions, i en tercer lloc es presta atenció a dos sectors, el de la indústria química i el de la indústria

de la construcció; la primera, per la seva importància i pel fet que algunes de les seves activitats s'incorporen al mercat d'emissions de CO₂, i la segona perquè, a més del seu valor intrínsec, pot tenir un gran efecte de sensibilització social.

18.3.1. De tipus general

De les mesures que cal prendre per a reduir les emissions, n'hi ha que són específiques d'algun sector industrial determinat, però n'hi ha d'altres que són aplicables a la majoria o a un bon nombre d'aquests sectors. Al capítol 7, corresponent a la indústria, de l'*IPCC Fourth Assessment Report* (IPCC, 2007) es fa notar que les opcions de què es disposa per mitigar les emissions amb efecte d'hivernacle en la indústria es poden dividir en tres categories:

- Mesures aplicables a molts sectors, com, per exemple, motors elèctrics més eficients, calderes i calefactores de procés eficient, canvi de combustible, incloent-hi l'ús de residus, reciclatge de materials i altres.
- Solucions més específiques d'un procés determinat, com per exemple l'ús de la bioenergia continguda en els residus de la indústria alimentària o en els de la pasta i el paper, turbines per recuperar l'energia continguda en el gas pressuritzat dels alts forns, estratègies de control per minimitzar les emissions de PFC en la fabricació d'alumini...
- Procediments d'operació i manteniment com el control de fuites de vapor o d'aire comprimit, aïllament correcte dels llocs calents, o disseny correcte de les necessitats per poder emprar els equips en la seva zona de màxima eficiència.

Moltes vegades no és fàcil separar les mesures del primer grup de les del tercer. Per això en aquest capítol es consideren totes com a mesures per millorar l'eficiència energètica.

18.3.1.1. Eficiència energètica

D'eficiència energètica darrerament se'n parla molt. Ja està bé, si aquesta popularitat representa que hi ha una sensibilització creixent, però cal vigilar que, com que ja se'n parla, s'actui menys del necessari. Cal prendre les mesures necessà-

ries per millorar-la i aquestes decisions han d'afectar tots els nivells de les empreses.

Probablement la millora de l'eficiència energètica en els processos tradicionals és la font d'estalvi d'energia, i per tant d'emissions, més important. És aplicable a tots els sectors industrials, no només als que s'han anomenat de la Directiva, sinó també als altres. Totes poden prendre decisions de millora de l'eficiència energètica amb el que es disminueixen les emissions. Aquestes afirmacions anteriors es veuen confirmades per les previsions de l'AIE (Agència Internacional de l'Energia) en les seves *Energy Technology Perspectives 2008*. Aquesta publicació preveu el percentatge de participació de diferents mesures que es prendran per reduir les emissions l'any 2050 des de l'escenari base, el que tindríem si no es fes res.

La previsió d'emissions d'aquest escenari base és de 62 Gt, i les del mapa BLUE, que és el desitjable, és de 14 Gt de CO₂ equivalent. Els percentatges de participació de les diferents mesures previstes en aquesta reducció són:

Canvis de procés en transformació i indústria	9%
Canvis de procés en generació d'electricitat	10%
Energia nuclear	6%
Fonts renovables	21%
Eficiència en la generació d'electricitat i canvi de combustibles	7%
Canvi de combustibles en el consum final	11%
Eficiència en el consum final d'electricitat	12%
Eficiència en el consum final de combustible	24%

Els dos últims conceptes, i també en part l'anterior, són els que s'anomenen eficiència en aquest capítol. No cal insistir, doncs, en la importància que tenen. Hi ha altres raons per donar importància a la necessitat d'actuar enèrgicament i ràpidament en aquest sentit, ja que tant Espanya com Catalunya, al revés del que passa a Europa, han tingut tendència a augmentar la intensitat energètica, que és la quantitat d'energia necessà-

ria per augmentar en una unitat el PIB, fins l'any 2006, en què s'observa l'inici d'una tendència a disminuir. Concretament, la millora ha estat d'un 3,8% en els tres últims anys. Tot i que cal pensar que les mesures que s'han pres hi han influït positivament, no es pot perdre de vista que, almenys l'últim any, hi pot haver tingut alguna cosa a veure la crisi econòmica que ens afecta. En qualsevol cas, cal verificar que aquesta intensitat energètica, que és un índex generalment acceptat com a mesura de l'eficiència, continua baixant.

Cal deixar constància que són moltes les iniciatives que estimulen la millora de l'eficiència energètica i que s'esforcen per demostrar la seva rendibilitat i la possibilitat que aquest sector generi una capacitat de negoci important: catàlegs d'empreses productores d'equipament elèctric que expliquen com estalviar consum elèctric, creació de clústers d'empreses que ofereixen productes o serveis destinats a millorar l'eficiència energètica com el que han posat en marxa ICAEN i b_TEC, sessions plenàries i seminaris en diferents organitzacions com les que tenen lloc a les Barcelona Tech Summer Sessions fetes en col·laboració amb el MIT, i altres, a més de la iniciativa estatal Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4+), que serà objecte de comentari.

Ara bé; cal que aquests esforços es complementin amb suports de tipus legal, normatiu o fiscal perquè donin els fruits desitjats.

Cal esmentar també, i amb un èmfasi especial, que fa ja més de vint-i-cinc anys que es va crear a Catalunya el Grup de Gestors Energètics, que agrupa professionals que pertanyen a empreses industrials concretes o a empreses consultores i que posen en comú les seves experiències amb l'objectiu de millorar l'eficiència en l'ús de l'energia, que sempre comporta un estalvi econòmic o una millora en els processos. Vol dir que a Catalunya l'interès per l'eficiència energètica no és una moda. Cal, només, el suport necessari de les administracions per fer-lo créixer més encara.

En parlar de l'eficiència, cal parlar del consum d'energia a Catalunya. Segons dades del Govern de la Generalitat, contingudes en el *Pla de l'energia a Catalunya 2006-2015*, el transport (que és objecte de tractament específic en un altre capítol)

representa al voltant del 39% del consum; la indústria, entre el 34% i el 35%; el sector domèstic, poc menys del 13%; els serveis, el 10%, i el sector primari, de l'ordre del 3,5%. A més de constatar el consum important de la indústria, cal tenir en compte el fort consum domèstic. Una bona part d'aquest consum es deu al condicionament d'aire i a la il·luminació (els electrodomèstics són l'altre capítol pel que fa al consum), que també tenen una certa importància en la indústria i molta en els serveis. Per això, en aquest capítol corresponent a la indústria, es dedica una atenció especial a la indústria de la construcció.

Per sectors industrials, segons la mateixa font abans esmentada, el de més consum és el químic (uns 1.100 kTEP/any), seguit del ciment (uns 750 kTEP/any), del metall (de l'ordre de 600 kTEP/any), de l'alimentació (per sota dels 600 kTEP/any, però poc), el tèxtil (de l'ordre dels 400 kTEP/any), la mineria, el paper (tots dos una mica per sota dels 400 kTEP/any) i el vidre (de l'ordre de 250 kTEP/any).

El mateix *Pla de l'energia de Catalunya 2006 - 2015* preveu unes inversions en eficiència energètica de 4.320 M€, dels quals 1.409 M€ serien invertits en el sector industrial i 1.133 M€ en el domèstic (amb participació de la indústria de la construcció). Caldrà seguir l'evolució de l'índex d'intensitat energètica, on s'hauria de trobar un reflex d'aquestes inversions.

Tot i que la major part del consum el fan les 150 empreses catalanes més grans, no es pot perdre de vista la importància de la PIME a Catalunya.

Cal tenir present que segons dades del Departament d'Innovació, Universitats i Empresa l'any 2007 un 32% de les companyies del sector industrial no tenien empleats a sou, un 48,3% tenien entre 1 i 9 empleats, el 15,6%, entre 10 i 49 empleats; només el 2,3% en tenen entre 50 i 99, i amb més de 100 empleats el percentatge és del 1,5%. Segur que les dades del 2007, i més encara les del 2008, anirien a favor de la reducció del nombre d'empleats.

Com que les empreses grans tenen els seus gestors energètics i és fàcil verificar els estalvis fets, és en aquestes que s'emprenen actuacions d'eficiència energètica amb més freqüència, però les xifres anteriors ens demostren que cal fer un gran esforç d'agrupament de les petites i mitjanes

per implantar mesures d'eficiència. L'experiència demostra que és en aquestes que es poden assolir els estalvis més importants, encara que d'una en una en valor absolut no ho sembli.

És interessant donar unes quantes dades publicades a finals del 2008 pel Centro de Eficiencia Energética de Unión Fenosa i que podran ser seguides en el futur, ja que es publiquen cada any. Es fonamenten en un índex d'eficiència energètica creat per Unión Fenosa que es calcula mitjançant les dades subministrades per un conjunt d'empreses de sectors diversos i que té en compte la innovació, el control, el manteniment i la cultura energètica.

En un any, l'eficiència energètica de les pimes catalanes ha passat d'un índex 3,2 a 4,2 (sobre 10). Queda encara un potencial d'estalvi en el consum energètic del 16,4%.

Aquest potencial d'estalvi equival a la no emissió de 3.264.000 tones de CO₂.

La millora d'eficiència de l'últim any ha significat un estalvi del 2,3% del consum energètic de les pimes o, en altres paraules, s'ha evitat l'emissió de 457.751 tones de CO₂.

L'índex per a tot Espanya és de 4, i superen Catalunya tant Galícia (amb un índex 4,6) com la Rioja i Castella-la Manxa (amb un índex 4,3).

El sector de la indústria a Catalunya es comporta millor que la mitjana (en la qual participen empreses comercials, del sector serveis...) amb un índex de 5 (sobre 10) i amb una millora de 0,7 respecte de l'any anterior. L'estalvi potencial estimat és lògicament inferior a la mitjana, i se situa en el 11,3%.

Tot i la millora, cal tenir present el que afirma el *Documento de visión de la eficiencia energética en España*, editat per la Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética (PTE-EE) (*Documento...*, 2009). «D'una manera general es pot afirmar que les pimes espanyoles són ineficients, ja que poc més de la meitat porten a terme un programa de manteniment, menys del 10% han fet auditories energètiques i només un 27% ha iniciat alguna mesura que porti a l'estalvi. És important millorar el treball de divulgació sobre aquestes matèries i promoure la realització d'auditories energètiques enfocades a la implementació de mesures d'estalvi energètic». Els valors per a Catalunya són semblants.

Calen actuacions decidides per superar aquesta situació. En primer lloc cal estimular la realització d'auditories energètiques a preus competitius i realitzades per organismes independents, com demana la directiva 2006/32/CE. Cal que estiguin normalitzades en la mesura del possible superant la carència de models unificats i estudis energètics al nostre país.

S'ha d'incorporar la millora de l'eficiència energètica a la gestió de totes les empreses industrials i s'ha de promoure l'agrupament que ho faci possible.

També cal tenir un bon observatori que permeti estar al corrent de totes les innovacions tecnològiques disponibles i, en conseqüència, decidir en quins àmbits cal centrar les recerques pròpies.

Les auditories han d'ajudar a emprar els millors combustibles o a rebre l'electricitat en les millors condicions (compensant l'energia reactiva, eliminant harmònics) i han de permetre variar, si és possible, el tipus d'utilització per disminuir els pics de consum a les hores de màxim consum general i consumir més quan el consum general és menor.

Una vegada decidit el tipus d'energia que cal emprar, cal també analitzar si la seva conversió en energia útil mitjançant motors elèctrics o tèrmics que mouen bombes, ventiladors, compressors i altres enginyers és la més adequada i permet fer-ne ús en les condicions de màxima eficàcia i, per tant, de consum mínim. Moltes vegades, de manera errònia, no es fa cas de les indicacions que es donen en les instruccions de les màquines, amb les conseqüents pèrdues que això comporta.

També cal posar en qüestió tots els equips que componen la instal·lació (calderes, destil·ladors, forns...) i veure si és possible obtenir energia localment, mitjançant cogeneració, per exemple, o aprofitant residus de la mateixa instal·lació o aliens o fent ús de superfícies disponibles per instal·lar-hi col·lectors solars o per altres mètodes. L'ús de les millors tècniques disponibles es tracta específicament en un altre apartat.

Finalment cal analitzar quines tecnologies de millora són aplicables: recuperadors de calor, controladors de flux, variadors de velocitat, aïllaments més eficaços, recuperació de condensats...

El mercat ofereix possibilitats de millora en tots els aspectes esmentats i també en el de les

mesures necessàries per poder controlar on i per què es produeixen els consums excessius.

En són un exemple els productes i serveis que ofereixen les empreses del Clúster d'Eficiència Energètica de Catalunya, moltes de les quals tenen centres de decisió, recerca i producció a Catalunya.

Com a exemple i estímul, sembla interessant esmentar un cas pràctic, recollit a ICAEN, 2009. Una empresa usuària de vapor ha incorporat la tecnologia del termocompressor en el seu procés productiu per a la recuperació del vapor dels condensats. Aquest termocompressor reinjecta el revaporitzat procedent dels condensats calents al circuit de vapor i, a la vegada, una bomba d'alimentació contínua a caldera hi reinjecta el condensat romanent que encara està a més temperatura (145 °C) que l'aigua d'alimentació convencional.

Aquesta instal·lació ha representat una reducció del consum de gas natural superior al 10%, estalvi que representa uns 2 GWh anuals, amb la consegüent reducció d'emissions. El termini d'amortització és de 14,2 mesos. Si es té en compte l'estalvi d'aigua (i el d'energia que comporta l'obtenció i el transport d'aquest element), els rendiments encara són superiors.

Aquest exemple porta a una consideració complementària important, i és que en la indústria es pot estalviar també força aigua, i aquest estalvi repercuteix indirectament, per les raons acabades d'exposar, en l'estalvi global d'energia. Aquest argument pren encara més força si una part de l'aigua cal obtenir-la per dessalació.

Un dels problemes que es detecten amb freqüència és la manca de manteniment preventiu o d'incorporació de millores en les instal·lacions. Una iniciativa que milloraria aquesta situació és la creació i impuls d'empreses de serveis energètics. Com que en el sector serveis és on poden tenir més incidència, es tracten amb més detall a la secció on es parla de la indústria de la construcció.

Abans d'acabar aquest capítol volem fer una referència al Pla E4+ per a totes les comunitats autònomes de l'Estat espanyol. Com que és prou conegut, ens limitarem a recollir els àmbits en els quals es preveïen ajuts en cada un dels sectors per a l'any 2009.

Mesures prioritàries

Sector de la indústria

Implantació de millors tècniques de producció (ajuts per a la substitució d'equipament per altres equips més eficients).

Sector de l'edificació

Rehabilitació energètica de l'envolupant tèrmica dels edificis existents.

Millora de l'eficiència energètica de les instal·lacions tèrmiques dels edificis existents.

Millora de l'eficiència energètica de les instal·lacions d'il·luminació interior en els edificis existents.

Sector de la transformació de l'energia

Desenvolupament del potencial de cogeneració. Ajuts públics a cogeneracions no industrials.

Mesures addicionals

Sector de la indústria

Auditories energètiques

Sector de l'edificació

Construcció d'edificis nous amb alta qualificació energètica.

Cursos de formació sobre la nova normativa energètica aplicable a l'edificació.

Millora de l'eficiència energètica a les instal·lacions d'ascensors existents als edificis.

Sector de la transformació de l'energia

Estudis de viabilitat per a cogeneracions.

Auditories energètiques de cogeneració.

Foment de plantes de cogeneració de potència baixa.

Sector de l'agricultura i la pesca

Campanya de promoció i formació en tècniques d'ús eficient de l'energia en els sectors agrari i pesquer.

Impuls per la migració de sistemes de reg per aspersió o gravetat a sistemes de reg localitzat.

Millora de l'estalvi i l'eficiència energètica en el sector pesquer.

Realització d'auditories energètiques i plans d'actuació de millores en explotacions agràries.

Millora de l'eficiència dels tractors en ús mitjançant la ITV.

Suport a la migració vers l'agricultura de conservació.

Sector dels serveis públics

Renovació de les instal·lacions d'enllumenat públic exterior existents.

Estudis, anàlisis de viabilitat i auditories en instal·lacions d'enllumenat públic exterior existents.

Realització de cursos de formació energètica per als tècnics municipals que possibilitin la millora de l'eficiència energètica de les instal·lacions municipals.

Millora de l'eficiència energètica de les instal·lacions actuals de potabilització, abastament i depuració d'aigües residuals i dessalació.

Cal destacar l'atenció especial a la indústria de l'edificació. Es tracta d'un sector en què es pot estalviar molt i on fa falta la motivació dels actors, ja que en general no ha estat considerat com un sector amb un consum important i amb una gran capacitat de millora.

Pel que fa a les auditories a la indústria, tot i que es tracta de mesures complementàries, són molt importants, ja que és el primer pas, imprescindible, per poder emprendre mesures correctores. Els ajuts poden arribar al 75% de l'import, però amb uns valors màxims nets que depenen del consum energètic final de l'establiment on es fa l'auditoria, i que van de 22.500 € quan aquest consum és superior als 60 kTEP/any als 7.500 € quan no supera els 4.000 tep/any, amb un màxim de 12.750 € per consums compresos entre 10.000 i 20.000 TEP/any.

En el pla les auditories no són prioritàries i, en canvi, sí que ho són les millores que es poden introduir als processos productius. De tota manera, cal ser prudent a l'hora de valorar aquests últims ajuts, ja que normalment la inversió complementària que ha de fer l'empresa és important i això fa que els demanin empreses d'una certa grandària per a les quals no és un problema realitzar inversions d'una certa magnitud i en què din fora empreses mitjanes i petites que són probablement les que produïrien estalvis relatius més importants.

Per la mateixa raó, en parlar d'ús de les millors tècniques disponibles i de combustibles

alternatius, així com quan es parla d'innovació, cal fer diferència entre les grans empreses i les petites i mitjanes. Les mesures que és més fàcil que prenguin aquestes últimes són les que han estat esmentades en aquest apartat d'eficiència, tot i que un esforç d'associació per sectors podria facilitar una millor gestió dels recursos energètics i la incorporació d'altres millores.

L'actuació decidida de l'autoritat catalana competent hi ha d'ajudar tenint sempre present que a l'objectiu ambiental cal afegir-hi el de la competitivitat de les empreses.

18.3.1.2. Ús de les millors tècniques disponibles

La millora de l'eficiència energètica dels processos industrials és encara el camí per reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en les empreses mitjanes i petites.

No es poden oblidar, però, dos camins més que porten també a aquesta reducció: l'ús de les millors tècniques disponibles per a cada procés i el canvi, quan és possible, dels combustibles usats directament en el processos per altres combustibles que representin menys emissió.

En aquest apartat es fa referència a l'ús de les millors tècniques disponibles.

A l'informe de l'IPCC (IPCC, 2007) hi ha una relació exhaustiva de les millors tecnologies que es poden emprar en els diferents sectors industrials inclosos a la Directiva europea de comerç d'emissions. Més endavant es relacionen un seguit de guies. Abans, però, dos comentaris.

El primer, tornar a afirmar que a les empreses grans els és més fàcil fer canvis de procés que a les petites i mitjanes. A Loxins, 2008, per exemple, en el capítol «Repensar la producció», de Hunter Lovins, es presenten diferents exemples d'empreses que han canviat els seus paradigmes per treure profit de l'opció d'anar cap a una producció més sostenible. Ara bé; totes són empreses grans. Les inversions necessàries són assumibles per aquestes i, en canvi, ho són menys per a empreses mitjanes i petites, que, d'altra banda, constitueixen el gruix important de la producció industrial. Cal, doncs, arbitrar mesures que permetin a aquestes empreses fer els canvis necessaris.

La primera mesura estratègica dedicada a les empreses en el Pla E4+ preveu aquests ajuts,

però cal fer prèviament una tasca de sensibilització i impuls que demostrï a la petita i mitjana empresa que podrà recuperar en un temps prudencial la inversió feta. Altrament són les empreses que tenen altres formes de finançament les que aprofiten aquests ajuts.

El segon aspecte que cal posar de relleu és la facilitat amb què es pot tenir accés a aquestes millores tècniques.

La Unió Europea ha publicat un conjunt de guies per a diferents sectors industrials que haurien de ser més conegudes del que ho són al nostre país. Són conseqüència de la Directiva europea de control i prevenció integral de la contaminació ambiental. Constantment es van actualitzant en funció de nous coneixements i de les innovacions que es van produint, amb la participació dels millors tècnics dels diferents sectors.

Tot i que es poden trobar,³ té interès fer-ne el llistat com a comprovació tant del fet que pràcticament tots els sectors hi tenen respostes, com de la seva actualitat.

Indústries del ciment, calç i òxid de magnesi. Vigent des del 2001 però amb un nou esborrany acabat, encara no aprovat, del maig del 2009.

Indústria ceràmica. Vigent des del 2007.

Indústria del clor i la sosa. Vigent des del 2001. L'any 2008 s'ha iniciat un nou esborrany.

Tractament comú d'aigües residuals i de gasos residuals/ Sistemes de gestió al sector químic. Vigent des del 2003. Nou esborrany iniciat el 2007. El 2008 ja s'ha fet una reunió plenària per tenir la primera discussió d'aquest esborrany.

Efectes econòmics. Vigent des del 2006. Es tracta d'una guia aplicable a tots els processos industrials per deduir, amb un grau important de versemblança, les conseqüències econòmiques de la implantació d'una millora, tenint en compte el cost associat.

Emissions dels emmagatzematges. Vigent des del 2006.

Eficiència energètica. Vigent des del 2009.

Indústria de procés dels metalls ferruginosos. Vigent des del 2001. Se n'ha iniciat un nou esborrany l'any 2008.

3. Vegeu <http://eippcb.jrc.es/reference/>. (Setembre 2009).

Indústries alimentàries, làctiques i de begudes. Vigent des del 2006.

Principis generals de monitorització. Vigent des del 2003. Iniciat un nou esborrany el 2009.

Indústria del vidre. Vigent del 2001. Nou esborrany, encara no aprovat, del 2008.

Sistemes de refrigeració industrial. Vigent des del 2001. Nou esborrany iniciat el 2009.

Cria intensiva d'aus i porcs. Vigent des del 2003. Nou esborrany iniciat el 2008.

Plantes grans de combustió. Vigent des del 2006.

Química inorgànica en grans quantitats – Indústries de l'amoniac, àcids i fertilitzants. Vigent des del 2007.

Química inorgànica en grans quantitats – Sòlids i altres indústries. Vigent des del 2007.

Química orgànica en grans quantitats. Vigent des del 2003. Iniciat un nou esborrany el 2009.

Gestió de gangues i roques de rebuig a la indústria minera. Vigent des del 2009.

Química fina. Vigent des del 2006.

Refineries d'oli mineral i gas. Vigent des del 2003. Nou esborrany iniciat el 2008, any que ja va tenir lloc la primera reunió plenària per a la seva discussió.

Indústries de metalls no ferruginosos. Vigent des del 2001. Nou esborrany acabat, encara no aprovat, el 2008.

Producció de ferro i acer. Vigent des del 2001. Nou esborrany acabat, encara no aprovat, el 2008.

Producció de polímers. Vigent des del 2007.

Producció de productes químics inorgànics especials. Vigent des del 2007.

Indústria de la polpa i el paper. Vigent des del 2001. Nou esborrany iniciat el 2007.

Escorxadors i productes derivats dels animals. Vigent des del 2005.

Forja i foneries. Vigent des del 2005.

Tractaments de superfícies de metalls i plàstics. Vigent des del 2006.

Tractament de superfícies amb dissolvents orgànics. Vigent des del 2007.

Adoberies. Vigent des del 2003. Nou esborrany acabat, encara no aprovat, el 2009.

Indústria tèxtil. Vigent des del 2003.

Incineració de residus. Vigent des del 2006.

Indústries de tractament de residus. Vigent des del 2006.

La traducció al castellà d'aquests documents, així com els seus resums executius, es troba a Internet,⁴ i en català s'han publicat onze guies basades en les anteriors i que també són consultables.⁵

De documentació a la disposició dels interessats, n'hi ha. A les empreses amb gestor energètic, propi o extern, aquesta documentació es coneix i s'avalua la possibilitat d'incorporar el màxim possible de millores. Queda, però, un gruix important d'empreses en les quals hi ha molt per fer. Calen programes específics per sectors, començant per aquells que tinguin més potencial de millora.

18.3.1.3. Combustibles alternatius

Tot i que on és més important trobar alternatives als combustibles emprats actualment és en la producció d'electricitat, també és important trobar-ne en les indústries grans consumidores d'energia, com poden ser la de l'acer, la del ciment, la de la ceràmica o la del paper.

Es pot pensar en minicentrals eòliques o solars complementades per cogeneració, o cogeneració per substituir el fuel per gas, però cal dedicar una atenció especial a la valorització de residus, procediment que pot ajudar molt en indústries com la del ciment i la ceràmica, entre altres.

És una de les fonts d'estalvi d'emissions que cal preveure per al futur més immediat.

Tot i això, de moment, per la reglamentació vigent, la indústria de Catalunya no en pot gaudir en la mesura que seria desitjable.

S'ha publicat recentment un estudi fet per l'Institut Cerdà per encàrrec de la Fundació Laboral del Cemento y el Medio Ambiente (Institut Cerdà, 2009) en el qual es constaten fets com els següents:

- Catalunya és la comunitat autònoma amb més capacitat de producció de clínquer (21,9% del total espanyol) i de ciment (19,4% del total espanyol).

4. <http://www.prtr-es.es/fondo-documental/documentos-de-mejores-tecnicas-disponibles> (agost 2009).

5. <http://mediambient.gencat.cat/cat/empreses>, i aneu a «Millors tècniques disponibles».

- Malgrat això, l'any 2006 s'empraren menys de 25.000 tones de combustibles alternatius, que representen un 1,2% del total, mentre que en altres comunitats autònomes s'ha arribat a percentatges superiors al 27% (Múrcia).
- A Europa, en conjunt, l'aportació dels combustibles alternatius (farines, pneumàtics i altres residus) és del 18% (a Espanya només del 6%) i als països més desenvolupats els percentatges són superiors.
- Suècia, Alemanya i Bèlgica s'acosten al 30%; França i Noruega, al 35%; Àustria està en el 45%; Suïssa s'acosta al 50% i Holanda supera el 80%.
- Els productes més emprats són les farines càrnies, seguides dels pneumàtics fora d'ús, els dissolvents, les serradures impregnades, els olis minerals, la biomassa forestal, altres tipus de biomassa i els llots de depuradora. S'empren també altres productes, però en quantitats que no superen les 10.000 tones.
- Es constata la poca o nul·la participació a Catalunya dels residus urbans valoritzats.

En aquest sentit hi ha cada vegada més veus que demanen un canvi de política pel que fa als residus. Cal esmentar, com a molt significativa, la monografia que al març del 2009 van fer pública els enginyers industrials de Catalunya (Payet *et al.*, 2009).

En destaquen alguns aspectes:

- El reciclatge és la millor manera de recuperar energia d'una part molt important del residu i ha de ser prioritari davant de la recuperació energètica, sempre que sigui viable.
- Sumant l'energia procedent dels residus municipals, industrials, forestals i ramaders, es podria estalviar entre un 8% i un 9% de l'energia primària consumida a Espanya.
- La recollida selectiva (paper, vidre, plàstic i matèria orgànica) creix, i l'any 2007 s'ha situat per sobre del 30% del total, però queda una resta important que fins ara és objecte de deposició.
- Hi ha mètodes per tractar la fracció resta que són exposats en el treball.
- La incineració de residus ofereix l'oportunitat d'augmentar l'aprofitament energètic compar-

tint la incineració de residus en centres combinats de calor i energia elèctrica associats en els anomenats «district heating» (calefacció de barri).

- Els països europeus més avantguardistes en gestió dels residus tenen una elevada taxa d'incineració (directa o mitjançant empreses que els poden emprar com a combustible una vegada valoritzats). A Holanda, Bèlgica, Suècia i Dinamarca es porten a un abocador menys del 10% dels residus produïts. A Alemanya, Àustria i Luxemburg, menys del 20%, mentre que a Espanya encara s'està en valors superiors al 50%.
- L'aplicació en els darrers anys de les millors tecnologies disponibles sobre la incineració dels residus que no poden ser reciclats, juntament amb la prescripció d'estàndards de qualitat ambiental cada vegada més i més estrictes, fa que s'hagin eliminat els riscos associats a la incineració de residus amb aprofitament energètic.
- Com s'indica en el document publicat pel ministeri alemany de medi ambient, actualment es comporten com a embornals de contaminació.
- La directiva europea reconeix la incineració com un sistema millor que l'ús de dipòsits controlats dins la jerarquia de gestió de residus.
- Els països europeus més avançats ja estan aplicant la jerarquia recollida a la directiva i només utilitzen el dipòsit controlat com a última alternativa possible.
- La valoració energètica de residus es troba inclosa en el règim especial de generació elèctrica (RD 661/2007 i ordre ITC 3801/2008) per al foment de les fonts renovables i alternatives de generació elèctrica.

Sembla clar que hi ha molt camí per recórrer per no augmentar les emissions de CO₂ en més d'un sector industrial.

18.3.1.4. Sensibilització social

També en un capítol dedicat a la indústria és escaient parlar de sensibilització social. Cal posar de manifest que com més sensibilitzada estigui la nostra societat, més fàcil serà, per a les indús-

tries que lluiten per reduir la contaminació, tirar endavant els seus projectes.

No es pot perdre de vista que la indústria necessita tenir beneficis per mantenir la seva activitat, i que els beneficis s'obtenen quan els clients valoren els productes que se'ls ofereixen. Doncs bé, cal que aquests clients compensin les empreses intel·ligents, que són aquelles que, com diu Hunter Lovins (Lovins, 2008), reconeixen la necessitat d'anar més enllà del normal dins del món dels negocis per satisfer les necessitats de les persones de manera sostenible.

Cal sensibilitzar els responsables de les empreses que no es poden fixar només en l'obtenció de beneficis a curt termini, sinó que cal integrar també altres factors com els ambientals, els socials i les bones polítiques de governament.

Segons un estudi de Goldman Sachs fet l'any 2007 citat per Lovins (Lovins, 2008), el comportament borsari de les empreses que ho tenen en compte és molt millor que el de les que no ho fan.

Les empreses s'han de preparar per a una nova onada de creixement, després de la que ha estat liderada per les tecnologies de la informació i les comunicacions, fonamentada en la sostenibilitat, en l'aprofitament màxim dels recursos, en la biomimètica, en l'ecologia industrial...i en la qual el valor de les empreses es mesurarà amb paràmetres relacionats amb el valor i el talent de les persones de l'empresa, la seva motivació, capacitat innovadora..., amb la contribució de l'empresa a la millora de l'entorn ambiental i social, i amb la seva capacitat de lideratge en el mercat que li correspongui, conseqüència dels aspectes anteriors.

Això, una vegada més, els és més fàcil fer-ho a les empreses grans. Les mitjanes i petites no poden, però, quedar fora d'aquest procés, i han de potenciar els aspectes que els siguin més propicis per tal de ser també líders, si no en el mercat global, sí en escales que sempre deixen les corporacions importants o en col·laboració amb aquestes corporacions.

En qualsevol cas, cal una tasca important de sensibilització, i més en un moment de crisi que s'hauria d'aprofitar per preparar-se per a aquesta nova onada de creixement on només participaran els millors.

18.3.2. De tipus específic en sectors de la Directiva

18.3.2.1. Ciment

La indústria del ciment ha fet un esforç molt important els últims anys per reduir les seves emissions. Per això se li dedica una atenció especial, i també perquè és una indústria molt emissora en valor absolut.

Fins ara, a Catalunya aquest esforç s'ha centrat en gran mesura en la millora de l'eficiència energètica de les instal·lacions, en línia amb el que fa el sector a tot Espanya.

L'augment de les inversions del sector en millores mediambientals, que han passat d'una mitjana de 40 milions d'euros en el període 1995/2000 a 90 milions d'euros en el període 2001/2007, segons dades d'Oficemen, ha comportat, al costat d'altres millores, que l'eficiència energètica en el conjunt del sector hagi millorat en un percentatge de l'ordre del 40% i s'hagi passat d'un consum superior als 4.500 MJ per tona de ciment a poc més dels 3.000 MJ per tona.

Si es compara amb altres països, Espanya està millor que la mitjana europea, que se situa una mica per sobre dels 3.500 MJ per tona, i s'adiu plenament amb els valors que es poden esperar aplicant les millors tècniques disponibles.

Els bons valors d'eficiència energètica de les cimiteres no ha de fer perdre de vista que hi ha algun país que obté millors rendiments, tot i que les diferències no són importants. Japó està també per sobre dels 3.000 MJ/tona, però per sota d'Espanya, i Corea del Sud se situa pràcticament en els 3.000 MJ/tona.

En qualsevol cas, donat el nivell ja assolit, no sembla que la millora de l'eficiència energètica sigui la font de nous avenços sensibles en la reducció de les emissions en aquest sector. Aquests cal buscar-los en el que d'una manera genèrica s'anomena coprocessament. Aquest mot indica:

Combustibles alternatius amb un valor calòric important (per exemple, olis usats)

Matèries primeres alternatives, amb components minerals que les facin aptes per a la producció de clínquer (per exemple, sòls contaminats, cendres, escòries, guix artificial...)

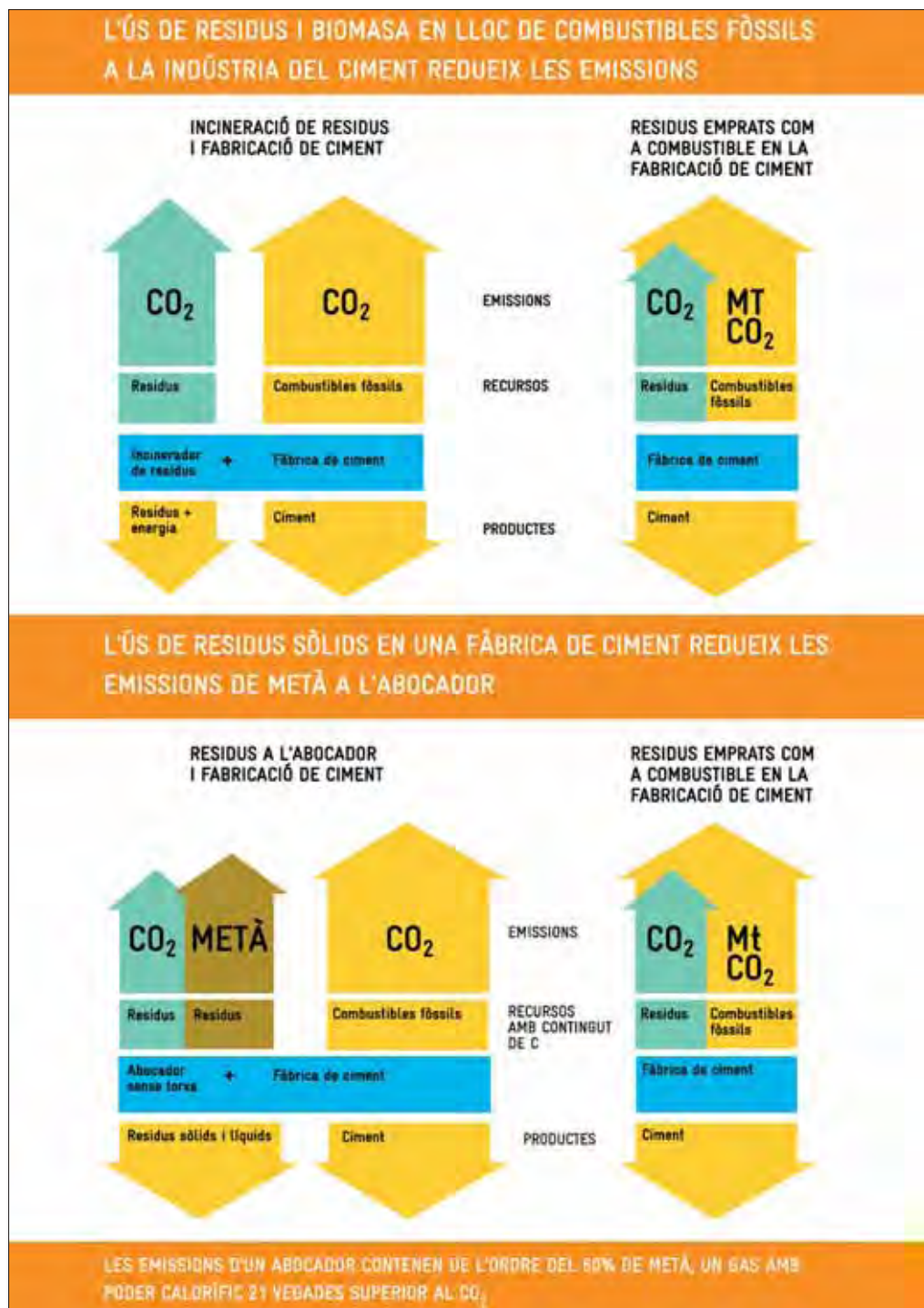


Figura 1.
Font: CEMBUREAU, 2009.

Materials que compleixen ambdues característiques, és a dir, que tenen un valor calòric important i tenen components materials desitjables (per exemple, pneumàtics usats).

No tots els materials de rebuig són vàlids per al coprocessament. Cal tenir present la composició del ciment i els efectes ambientals de la combustió.

Entre els materials no usables hi ha els residus que no han experimentat prèviament un procés de valorització. El coprocessament aporta molts avantatges; entre altres:

- Excés d'oxigen durant la combustió i després. Destrucció completa dels compostos orgànics.
- Total neutralització dels gasos àcids, òxids de sofre i clorur d'hidrogen, per la presència de calç en excés estequiomètric.
- Retenció de les traces de metalls pesants en l'estructura del clínquer amb la formació de silicats metàl·lics.
- No es produeixen subproductes com cendres o residus líquids resultants de la neteja dels gasos.

La figura de la pàgina anterior dóna una idea gràfica de l'estalvi d'emissions de CO_2 i de metà, un gas vint-i-una vegades més nociu que el CO_2 , si es fan servir els residus com a combustible en una planta cimentera en lloc de cremar-los en una incineradora o dipositar-los en un abocador.

18.3.2.2. Cogeneració i altres combustions

En general es tracta d'instal·lacions modernes, però encara hi ha potencial d'estalvi amb el canvi de combustible en alguns casos, amb l'ús de calderes d'alta eficiència en altres, en l'aprofitament integral de l'aigua i de la calor residual que transporta, en la revisió d'aïllaments... Cal fer-ho, ja que són encara moltes les instal·lacions que emeten més gasos dels assignats.

18.3.2.3. Refineries

La refineria que hi ha a Catalunya va obtenir ja al juliol del 2006 l'autorització ambiental integrada per a 8 anys, amb control cada dos anys.

Les inversions que es fan cada any per millorar totes les qüestions relacionades amb el medi ambient són importants. Els resultats són bons,

tot i que caldrà estudiar quines modificacions s'han d'introduir en els pròxims anys per poder complir amb les reduccions previstes.

En aquest moment, entre altres, estan en curs o aprovats projectes com l'optimització de la combustió a les calderes d'olefines, la recuperació de la calor dels fums de l'HDS, la millora de l'eficiència a les dues grans turbines d'olefines o l'augment de gruix de l'aïllament a la unitat 661, amb un pressupost, només per als projectes esmentats, superior als setze milions d'euros.

Els resultats són evidents, ja que del 2007 al 2008 les emissions de NO_x han passat de 4.075 tones a 2.719 tones, amb una disminució del 33% i ben per sota del límit legal, que està en 3.333 tones.

Cal tenir en compte que els òxids de nitrogen són també gasos amb efecte d'hivernacle, amb una nocivitat més de dues-centes vegades superior a la del CO_2 .

La reducció de SO_2 i partícules també ha estat del 50% i del 45%, respectivament.

El CO_2 s'ha mantingut per sota dels valors permesos, tot i que cal prendre mesures amb la vista posada al 2020.

18.3.2.4. Acer

Cal esmentar la rellevància que té el reciclatge dels metalls dels envasos com a mitjà per recuperar la ferralla, ingredient fonamental per a la siderúrgia. A més, la ferralla dels envasos és un material barat i fàcil de recuperar gràcies a les seves propietats magnètiques. El seu reciclatge permet un estalvi no només de primeres matèries, com el ferro o el carbó, sinó també de l'energia emprada.

Catalunya és la comunitat autònoma de l'Estat on es recicla una quantitat major d'envasos d'acer (un 19,1% del total de tones recuperades a Espanya l'any 2004). Un 46,6% del reciclatge va ser liderat per les plantes d'incineració, els recuperadors van proporcionar un 27,7%, la recollida selectiva el 16,3%, i el compostatge el 9,5%.

Catalunya no disposa de plantes siderúrgiques. D'acereries n'hi ha dues de pertanyents a la mateixa empresa, i molt a prop l'una de l'altra. De fonderies n'hi ha més de 140, algunes dedicades a fondre acer per fer peces mecàniques.

Es considera només una planta incorporada a la Directiva de comerç d'emissions.

El sector siderúrgic està en plena reconversió. És un sector en el qual, a més de l'aprofitament de la ferralla, els estalvis han de venir de l'ús de forns amb millor tecnologia i de l'aprofitament de la calor residual.

18.3.2.5. Vidre

El sector de la fabricació de vidre té una llarga tradició a Catalunya, on es concentra prop de la meitat de la xifra de negoci i dels llocs de treball del sector en l'àmbit estatal.

El subsector del vidre buit és, de totes les activitats industrials, el més avançat en matèria de reciclatge. S'estima que per cada tona d'envàs de vidre que es torna a fondre s'aconsegueix estalviar 1.200 quilos de matèries primeres i es consumeixen 130 quilos menys de fuel, amb la consegüent disminució de residus i d'emissions.

L'any 2004 el Parlament Europeu va aprovar la Directiva 2004/12/CE que estableix un objectiu obligatori de taxa de reciclatge per a l'any 2008 del 60% en pes per als envasos de vidre. És un objectiu molt ambiciós, però l'any 2007 es va recuperar a Espanya el 56% dels envasos posats en el mercat. Si es té en compte que Catalunya és capdavantera en reciclatge de vidre amb el 22,3% del total espanyol, vol dir que s'estan assolint els objectius marcats per la Directiva. Es van recollir quasi 147.000 tones d'envasos i, per tant, es va produir un estalvi de combustible pròxim a les 20.000 tones.

De vidre pla n'hi ha fàbriques a Tarragona i Barcelona. Els estalvis han de ser conseqüència de millores en l'eficiència energètica.

18.3.2.6. Paper

En redactar aquest capítol es disposa de les dades corresponents al 2007. La producció a Catalunya és el 30,3% del total espanyol.

En parlar d'emissions hi ha dos aspectes importants que cal considerar: l'ús de paper recuperat i la cogeneració.

La indústria espanyola de paper i cartró és la primera de la UE pel que fa a l'ús de paper recuperat com a primera matèria (un 84,6% de paper recuperat sobre la producció l'any 2007). Amb tot, hi ha molt a fer encara pel que fa a la

recollida, que és del 63,7% sobre el total de paper i cartró usat, fet que obliga a recórrer a la importació de paper usat. A Catalunya la major part de la matèria primera que utilitzen les empreses del sector té l'origen en el reciclatge (70%) i es preveu que aquest percentatge continuï augmentant.

L'ús de gas natural com a combustible en substitució del carbó i del fuel i la introducció de la cogeneració elèctrica han disminuït notablement les emissions de CO₂.

La indústria del paper i del cartró concentra l'any 2007 al voltant del 10% del nombre total de plantes de cogeneració que hi havia a Espanya i el 16% de la potència instal·lada, percentatges que són superiors a Catalunya. La necessitat d'importants quantitats de vapor i d'electricitat ho justifica. És tan important la producció elèctrica per cogeneració a les papereres que, a nivell d'Espanya, segons dades d'Aspapel, la ràtio entre electricitat generada i electricitat consumida és de l'ordre d'1,30, tant l'any 2007 com el 2008.

A Catalunya ha d'augmentar l'ús de biomassa (les primes per a la biomassa forestal són de l'ordre de 120 euros per megawatt hora produït). A tot Espanya hi ha 1.100 MW de cogeneració instal·lats, dels quals el 32% tenen com a combustible la biomassa. La proporció a Catalunya és inferior.

El canvi de combustible i l'eficiència en l'aprofitament de la calor (maquinària treballant en el punt de màxim rendiment, recuperació de condensats, màxima eficiència en la transmissió de la calor per a l'assecatge...) són els punts en els quals cal fer atenció per disminuir els consums i les emissions.

18.3.2.7. Calç i ceràmica

Són activitats que desenvolupen, en general, empreses petites. Això fa que, en molts casos, no s'emprin les millors tècniques disponibles, i que les que es tenen no s'explotin amb la màxima eficiència. Caldrà prendre mesures associatives per millorar les prestacions, sobretot en la branca de menor valor afegit.

A les empreses de major capacitat, els estalvis han de ser conseqüència de canvis de combustible i de millores en l'eficiència dels processos.

18.3.3. De tipus específic en sectors d'emissions difuses

Les millores de l'eficiència i l'ús de les millors tècniques disponibles són aplicables a totes les indústries, tot i que no totes ho són amb la mateixa intensitat.

A continuació es dedica atenció a comentar alguns aspectes de dos sectors, el químic i el de la construcció; el primer perquè és el principal consumidor d'energia i alguna de les seves activitats s'incorpora ja al règim de comerç d'emissions, i el segon per la seva incidència en els sectors de serveis i domèstic.

18.3.3.1. Indústria química

En els últims anys la indústria química ha fet un esforç important per mantenir les seves emissions a l'atmosfera i a l'aigua dins dels límits imposats per la legislació vigent. Aquest esforç ha ajudat, també, a reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Tanmateix, per mantenir l'activitat de la indústria química al nivell actual, suposant que tots els sectors s'incorporessin al règim de mercat d'emissions, o s'intensifiquen les mesures de reducció o caldrà recórrer al mercat del CO₂ i comprar drets d'emissió.

La incorporació d'un grup d'empreses del sector químic al règim de comerç d'emissions les obliga a totes a prendre les mesures necessàries des d'ara, ja que és molt probable que els valors que se'ls assignin l'any 2020 siguin baixos.

Una bona part de la indústria química catalana pertany a multinacionals que, en principi, podran emetre més si prenen mesures d'estalvi d'emissions en plantes pròpies ubicades en països on es pot aplicar el MDN (mecanisme de desenvolupament net), però hi ha un gruix important d'indústria química que és totalment catalana a la qual, per la seva grandària, no li serà fàcil incorporar-se a aquest mecanisme, i haurà de prendre altres mesures per gaudir d'una situació més favorable pel que fa a les emissions.

La indústria química de Tarragona va dedicar l'any 2007 uns 51 milions d'euros a mesures destinades a la protecció del medi ambient, quantitat molt superior a la d'anys anteriors. En el mateix sentit, l'Associació Empresarial Química de Tarragona (AEQT), formada per una trentena d'empreses, va signar amb el Departament de

Medi Ambient, l'any 2006, un conveni en matèria ambiental amb l'objectiu d'assolir un desenvolupament sostenible de la indústria.

Cal continuar. Moltes de les iniciatives d'eficiència energètica esmentades són aplicables, però cal també innovar en processos.

En aquest sentit no es pot deixar d'esmentar una iniciativa per a millorar l'eficiència dels processos químics. L'any 2008 va entrar en funcionament el Centre d'Investigació sobre Química Sostenible de la Universitat Rovira i Virgili. El seu objectiu principal és desenvolupar projectes concrets de millora dels productes i dels processos productius. Així com l'Institut Català d'Investigació Química porta a terme investigació pura, el nou centre fa recerca aplicada per a les empreses de l'entorn.

Entre altres línies de treball, els experts de l'ICIQ treballen, en col·laboració amb la indústria, per aconseguir convertir les primeres matèries en productes finals minimitzant els costos energètics i reduint la producció de residus.

Aquest és un dels camins. Cal que obtingui tot el suport necessari tant per part de les administracions com per part de les empreses, que tenen l'opció de convertir el que podria ser només una despesa en una oportunitat de negoci. Cal també que aquestes iniciatives augmentin amb una eficient col·laboració entre administracions, centres de recerca i empreses.

18.3.3.2. Indústria de la construcció

A Catalunya el sector domèstic representa un 12,8% del consum d'energia i el dels serveis, un 10,1%. Són valors molt importants.

La seva reducció va molt lligada a una indústria que de manera global s'anomena indústria de la construcció.

Sota aquest nom aquest capítol hi incorpora la construcció en si mateixa, on es poden fer grans estalvis tant a l'hora de projectar com a la de fer realitat els projectes, i tots aquells sectors industrials que hi participen: fabricació de materials de la construcció, fabricació de vidre, d'aïllants, de material sanitari, de material elèctric, comunicacions, aprofitaments de llum natural, condicionament d'aire i fluxos naturals, energies renovables, xarxes intel·ligents, instal·ladors, ESE...

Algunes d'aquestes indústries estan sotmeses al mercat d'emissions, però altres no. És més, per a moltes empreses d'aquest sector la participació en la millora de l'eficiència energètica en la construcció pot representar una oportunitat de negoci important.

Als Estats Units els sectors domèstic i de serveis representen consums percentuals encara més importants que a Catalunya. Per això no és estrany que al web del Massachusetts Institute of Technology (MIT) es proposin com a àrees d'estudi preferent les següents:

- Edificis intel·ligents i els seus components
- Sostres intel·ligents
- Ventilació natural i equipament integrat
- Sistemes d'il·luminació amb llum natural
- Nous materials i mètodes constructius
- Calefacció, ventilació i aire condicionat
- Sensors i sistemes de monitorització avançats
- Eines avançades de simulació que ajudin els dissenyadors d'edificis a elegir els sistemes més eficients energèticament
- Polítiques de transformació del mercat com codis i estàndards, incentius fiscals, informació i educació.

És tota una declaració de principis que hem de fer nostra.

Són actuacions amb molt impacte social i que demanen un consens que cal buscar amb formació i promoció de canvi de paradigmes. El millor edifici no hauria de ser aquell que més impacta només pel seu aspecte sinó aquell que representa, tant en la seva construcció com en el seu ús, la menor despesa d'energia.

Cal potenciar la normalització dels elements i dels mètodes constructius (a Catalunya hi ha qui posa en dubte que en parlar de la construcció es pugui parlar d'indústria per aquesta falta de normalització). Es podria evitar aquest dèficit promovent nous materials i mètodes constructius. Seria un pas important de cara a minimitzar la despesa d'energia i les emissions.

Cal que s'aprovi normativa relativa als pactes a mesurar en els materials i en els processos constructius i que es popularitzin els sistemes de certificació ambiental d'edificis. Els sistemes més estesos són el WGBC (World

Green Building Council) i l'SBA (Sustainable Building Alliance). Aquest últim és el sistema de certificació europeu, nascut de l'aliança entre la certificació francesa i l'alemanya, i neix com a reacció al WGBC.

La certificació es defensa perquè exigeix un manteniment en el temps d'uns mínims de qualitat ambiental dels edificis. Amb la Llei d'ordenació de l'edificació ja s'estableixen uns criteris i unes eines de mesura, però la pràctica demostra que no són de fàcil aplicació i, a més, no sempre el que es preveu en els projectes és el que s'acaba fent o el que acaba esdevenint amb el temps amb la manca de manteniment. Cal que en aquestes qüestions no es pensi a curt termini, sinó que es facin bé les coses i que es puguin mantenir a la vegada que s'incorporen aquelles millores que porten a l'estalvi i que van apareixent al llarg del temps.

Una iniciativa que pot ajudar a implementar mesures d'estalvi energètic en l'edificació, i que també es pot aplicar a la indústria, és promoure els models de negoci basats en el subministrament de serveis energètics (ESE o ESCO). Els promou la Directiva 2006/32/CE i les impulsa, entre altres institucions, la Plataforma para la Eficiencia Energética en España.

Segons la Directiva, una empresa de serveis energètics (ESE) o *energy services company* (ESCO) és una persona física o jurídica que dona uns serveis energètics que representen una millora de l'eficiència energètica a les instal·lacions o locals d'un usuari i admet un risc econòmic per portar-ho a terme. El pagament dels serveis prestats es fa (totalment o parcialment) amb l'obtenció de millores de l'eficiència energètica i amb el compliment dels altres requisits de rendiment convinguts.

És una definició àmplia que admet moltes concrecions diferents. Hi ha qüestions que s'hi troben implícites com que cal establir un període de temps durant el qual s'han d'obtenir els estalvis, que s'haurà de poder mesurar i que s'haurà de poder intervenir tant en el manteniment com en la implementació de millores.

En aquest sentit, tot i que el temps de què es parla no es pot prendre com a fix sinó com a referència, és molt més explícita la definició que d'una ESE fa la National Association of Energy

Services Companies (NAESCO), associació americana, país on aquesta activitat ha tingut un gran desenvolupament.

Per NAESCO, una ESE és una companyia que desenvolupa, instal·la i finança el disseny de projectes que tenen com a finalitat millorar l'eficiència energètica i els costos de manteniment en les instal·lacions per un període de 7 a 10 anys.

És clar que d'entrada cal tenir un històric del consum convencional d'un edifici o instal·lació equivalent i fer una projecció en el temps. La diferència entre aquesta projecció i la realitat és l'estalvi que s'ha produït amb un conjunt de mesures que poden afectar des del disseny de l'edifici fins a instal·lacions com la il·luminació i el condicionament d'aire, o, en el cas de la indústria, a canvis en algun procés.

Els contractes que es subscriuen poden tenir diverses modalitats, però n'hi ha dues de bàsiques: estalvi garantit o estalvi compartit.

En el primer, el client fa la inversió i com a conseqüència se li garanteix un estalvi. D'aquest estalvi, una part important se la queda el client per finançar la inversió i com a benefici i una altra part, més petita, se la queda l'ESCO com a pagament de l'assessorament, manteniment i millores. Si algun any l'estalvi que obté el client no arriba al que se li havia garantit, l'ESCO ha de compensar la diferència. Si, al contrari, els estalvis superen les previsions, la diferència es reparteix segons percentatges abans establerts entre client i ESCO.

En els contractes d'estalvi repartit, la inversió la fa l'ESCO i per això es queda la part més important de l'estalvi per compensar la inversió i com a benefici. Si no s'assoleix l'estalvi previst, el client continua rebent la mateixa quantitat pactada i és l'ESCO la que hi perd. Si, al contrari, els beneficis superen les previsions, la diferència es reparteix entre client i ESCO segons percentatges pactats.

En un contracte d'aquest tipus, l'ESCO vol participar en el disseny des d'un principi, ja que moltes vegades els estalvis depenen molt de com s'ha pensat l'edifici o la instal·lació.

Als països on aquest tipus de negoci ESCO està ben implantat ha quedat palès que és la millor manera d'estalviar energia en el sector de la

construcció. Ara bé, aquesta implantació és en funció de diferents paràmetres que no sempre es donen. Cal, d'entrada, que hi hagi una legislació fiscal que ho permeti i estimuli, cal que els costos energètics siguin calculables i que no es puguin produir canvis importants de preus com a conseqüència de decisions polítiques; calen, en fi, projectes emblemàtics de demostració que incitin la creació d'aquest tipus d'empreses.

Les administracions han de tenir-hi un paper fonamental, entre altres raons per què és en el sector serveis (hospitals, escoles, edificis de l'Administració) on primer es poden detectar i obtenir estalvis importants. En aquest sentit és molt positiva la iniciativa de l'IDAE (Instituto del Ahorro Energético) que ha proposat un model de contracte ESCO per a serveis energètics i de manteniment als edificis de les administracions públiques. L'àmbit jurídic d'aquests contractes es defineix a la Llei 30/2007, de 30 d'octubre, de contractes del sector públic.

Hi ha moltes iniciatives de recerca relacionades amb aquest sector: en el món de la il·luminació, en la recerca de components electrònics de molt baix consum, en l'estudi de sistemes de ventilació i llum naturals als edificis, en nous materials aïllants, en vidres amb tractaments especials que es puguin usar sense perdre qualitat d'aïllament tèrmic, en nous materials per a la construcció, en xarxes intel·ligents que permetin un control i una distribució automàtica dels consums, en la manera d'integrar diferents fonts energètiques (solar, eòlica, acumuladors dels vehicles elèctrics) a petita escala o per barris, en calefacció de barri, en nous sistemes de condicionament...

Moltes d'aquestes recerques es porten a terme en laboratoris de Catalunya com, per exemple, a l'IREC (Institut de Recerca en Energia de Catalunya) que té diferents línies de recerca en eficiència energètica en l'edificació.

Hi ha també edificis nous que poden servir de demostració. Un d'aquests pot ser el nou edifici destinat a ser banc de sang i teixits a Barcelona, en el qual tant el disseny de l'edifici com les instal·lacions s'han fet per obtenir millores de materials, dels sistemes de ventilació i climatització i de recuperació d'energia; també n'és un exemple l'edifici d'emissions zero del districte 22@.

Un projecte emblemàtic de demostració, que a més proposa moltes solucions per a la rehabilitació, camp en què es poden obtenir estalvis molt importants, és el PSE-Arfrisol, del CIEMAT. Fa anys que es va posar en marxa i té com a objectiu reduir fins en un 90% el consum als edificis d'oficines i demostrar tot el que es pot estalviar fent servir adequadament l'energia en l'edificació.

18.4. Altres iniciatives que han d'ajudar a reduir les emissions

18.4.1. Mercat del CO₂

L'anàlisi del comportament de la indústria radiada a Catalunya pel que fa al control i reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle està determinat per l'establiment a nivell europeu del mercat d'emissions de CO₂ i per la regulació estatal derivada d'aquesta directiva.

Per això pot ser convenient fer algunes consideracions relatives al mercat del CO₂.

Hi ha acord a considerar, com ho fa Montserrat Colldeforns (Vegara *et al.*, 2009), que la reducció d'emissions no la generen els instruments en si, sinó la influència que aquests instruments puguin tenir en el comportament de productors i consumidors, les inversions fetes per les empreses o els governs i les innovacions en tecnologies i productes. És a dir, la indústria hi té un paper important.

Com diu l'autora en la publicació abans esmentada, els instruments econòmics o de mercat són els que utilitzen la reacció de consumidors i productors a les condicions de mercat per influir en el seu comportament per tal que sigui favorable al medi ambient. Es basen en la capacitat del mercat de sintetitzar informació en relació amb les condicions agregades d'oferta i demanda i els preus resultants.

Són bàsicament els impostos ambientals, les subvencions, els drets d'emissió o permisos negociables o altres instruments híbrids.

Els instruments de mercat tenen una major eficiència econòmica ja que tenen una major flexibilitat i adaptació a cada situació particular i, a més, empenyen més eficaçment a l'adopció de noves tecnologies menys contaminants si d'aquesta adopció se'n deriven estalvis a curt, mitjà o llarg termini.

Tot i que hi ha experiències relatives a la fixació d'impostos per a l'emissió de CO₂ força antigues (Finlàndia va ser el país pioner l'any 1990), aquest sistema no ha estat emprat d'una manera generalitzada. La UE ha preferit harmonitzar primer els impostos sobre l'energia, i dels impostos sobre el CO₂, sembla que només els pensats per reduir les emissions dels vehicles s'estan generalitzant progressivament. Entre altres països, Espanya ha modificat l'impost de matriculació dels vehicles fent-hi intervenir d'una manera prou clara les emissions a l'hora de fixar els tipus impositius.

En canvi, sí que han crescut molt ràpidament els mercats de drets d'emissió de CO₂. Com que poden afectar a la indústria catalana, s'hi dedica més atenció tot seguit.

El mercat de drets pot existir a partir del moment en què el màxim d'emissions permeses sigui inferior a les emissions actuals. Com diu Montserrat Colldeforns, el dret d'emetre es converteix en un actiu important per a l'empresa perquè el necessita per poder produir.

És clar que, segons el preu a què calgui comprar els drets, serà més convenient introduir novetats tecnològiques que ajudin a disminuir les emissions. Aquest és un factor determinant. N'hi ha un altre, que és com les empreses obtenen els drets d'emissió.

Hi ha bàsicament dues maneres extremes de fer-ho, més totes les combinacions intermèdies. Les extremes són l'assignació gratuïta dels drets en funció de determinats paràmetres a decidir o l'obtenció d'aquests drets mitjançant subhasta.

Hi ha arguments a favor i en contra de cada una de les dues opcions, però en una primera etapa ha semblat millor a tots els països de la UE que els governs assignin els drets gratuïtament. De fet, la Directiva Europea del 2003 preveia que al menys un 95% dels drets havia de ser gratuït durant el primer període (fins el 2007) i al menys un 90% en el segon (2008 - 2012). Doncs bé; només tres països han subhastat el percentatge restant. Tots els altres han concedit gratuïtament el 100% de les emissions.

No és clar quin serà el sistema a partir del 2013, però tot fa suposar que n'hi pot haver un cert percentatge sotmès a subhasta.

De tota manera, cal tenir en compte que la UE, mitjançant la Directiva 2009/29/CE de

23 d'abril que modifica i complementa la Directiva 2003/87/CE, tot i mantenir una política valenta de reducció de les emissions, té clar que aquesta valentia no pot representar que les empreses de la UE estiguin en inferioritat de condicions respecte a les d'altres països, i per això en el seu plantejament (punt 24 i següents) recull els efectes que provoca sobre diferents sectors el fet que estiguin exposats a la competència internacional, defineix com s'identifiquen aquests sectors i recull les mesures adequades per combatre'n els efectes.

Amb posterioritat a la redacció d'aquest capítol, el 5 de gener de 2010, s'ha publicat la decisió de la Comissió de 24 de desembre de 2010 amb un llistat de sectors i subsectors que es consideren exposats a un risc significatiu de fuga de carboni, que és com es coneix el fet d'aquesta competència que es pot considerar deslleial.

El protocol de Kyoto incorpora uns mecanismes de flexibilitat que permeten a les empreses acumular drets d'emissió. Bàsicament són dos:

El primer és el mecanisme de desenvolupament net (MDN), que permet que els països que es van comprometre a Kyoto a reduir les seves emissions puguin fer-ho en part invertint en la reducció d'emissions en els països en via de desenvolupament que formen part del protocol, però no estan sotmesos a cap reducció concreta. És, a la vegada, una manera excel·lent de trameure tecnologies netes a països que no en disposen.

El segon és l'aplicació conjunta (AC), que permet que els països compleixin els seus objectius de reducció invertint en projectes que redueixin les emissions en altres països també vinculats als objectius de Kyoto, generalment de l'est d'Europa i de l'antiga Unió Soviètica.

El comerç d'emissions de la UE permet també altres fórmules com les negociacions entre estats amb compromís de reducció, l'acumulació per a anys posteriors de les emissions permeses i no exhaurides, compromisos sectorials...

El mecanisme de desenvolupament net és el més emprat, però cal dir que les empreses catalanes no han fet ús de cap dels dos mecanismes de flexibilitat. Tenint en compte que Barcelona és la capital europea per a la Mediterrània i que hi ha almenys tres països costaners amb aquest

mar on es poden portar a terme projectes MDN, pot ser una ocasió molt bona per iniciar un procés que pot fer falta i en el qual cal tenir una certa experiència per treure'n tot el profit possible.

El mercat de drets d'emissió de la Unió Europea és l'eina que ha de permetre el compliment del compromís vinculant de la UE. A més d'aquest mercat n'hi ha altres de voluntaris.

Per tenir una idea de la magnitud del mercat del CO₂, i de la importància relativa de cada un dels que el constitueixen, transcrivim unes xifres de l'informe del 2008 del Banc Mundial *State and trends of the carbon market*, recollides també en el treball abans esmentat.

L'any 2007 es van negociar en el mercat de drets de la UE 2.061 Mt de CO₂ amb un valor de 50.097 M\$ USA. Els valors en altres mercats són menyspreables al costat d'aquests (48 Mt de CO₂ en total amb un valor de 296 M\$ USA).

Tant com el valor absolut, és important el creixement, ja que el volum corresponent a l'any 2006 va ser tres vegades superior al del 2005 i el del 2007 pràcticament ha doblat el del 2006.

Les transaccions que tenen com a origen el MDN han crescut molt poc al llarg d'aquests tres anys considerats i no han estat encara gaire importants. Els volums de CO₂ que han estat estalviats (i, per tant, adquirits pels inversors) han estat de 359, 537 i 551 Mt el 2005, 2006 i 2007, respectivament, i a un preu mitjà resultant molt inferior del que s'ha pagat en el mercat de permisos (menys de la meitat).

Cal constatar que les transaccions del tipus MDN han generat un mercat secundari de transmissió d'aquests drets que l'any 2007 ha representat un volum de 240 Mt de CO₂.

El procés d'aplicació conjunta (AC) presenta una activitat petita (21, 16 i 41 Mt de CO₂ els tres anys considerats) i a un preu equiparable al que regeix les transaccions MDN.

Cal deixar constància que l'any 2009 la fira internacional (privada) del mercat de CO₂ va tenir lloc a Barcelona (on sembla que també es desenvoluparà en el futur), circumstància que no va ser prou aprofitada per exemplificar el perquè d'aquesta fira i, lògicament, la importància no solament ecològica sinó també econòmica que té i ha de tenir l'estalvi d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

18.4.2. Recerca i innovació

Quan es pensa en recerca i innovació relacionada amb el canvi climàtic s'acostuma a pensar, i ja està bé, en noves formes d'obtenció d'electricitat, en l'obtenció d'aquesta electricitat d'una manera més distribuïda per evitar les pèrdues que es generen en el transport, en la manera de confinar el CO₂ que es produeix mitjançant captura i emmagatzematge, en xarxes intel·ligents que permetin tenir la informació necessària per gestionar automàticament els consums...

No es pot perdre de vista, però, que hi ha molt a fer per reduir els consums i, per tant, les emissions, en processos convencionals als quals probablement no sempre es dedica la mateixa atenció que als nous. Segueixen essent necessaris i, per tant, cal innovar pensant també en aquests processos.

Es llegeix amb freqüència que cal que al nostre país es redueixin o s'abandonin segons quines produccions per potenciar-ne d'altres de menys intensives en energia. No és ara el moment d'entrar en què és millor. Els productes necessaris es seguiran produint en un lloc o altre i si no s'aplica la recerca i la innovació a aquests processos, seguiran emetent o provocant l'emissió de més gasos dels necessaris.

Ja s'han esmentat diferents iniciatives positives de recerca aplicada a Catalunya amb l'objectiu de disminuir les emissions en processos industrials.

Per seguir avançant cal, però, prendre mesures que incentivin.

Isabel Busom, en el treball ja esmentat (Vegara *et al.*, 2009), parla de dues fallades: la insuficiència d'incentius per a l'adopció de mesures correctores si no hi ha impostos sobre emissions (o similars) i la insuficiència d'incentius per a la generació d'innovacions, i arriba a les conclusions següents:

1. Els incentius que s'estableixen a través del mercat no seran suficients per impulsar la recerca i la innovació necessàries, perquè hi ha una escletxa entre la rendibilitat privada i la rendibilitat social de la inversió en aquestes activitats.

2. La política de recerca, desenvolupament i innovació, per si sola, no serà suficient per aconseguir el nivell de canvi tecnològic desitjable, ja que es produeixen dues fallades de mercat.

3. Encara que es plantegi alhora una política de control d'emissions i una de foment a la R+D+I, no serà suficient si això només es fa a nivell dels estats i no es té en compte la dimensió internacional de les dues externalitats.

I, com a conseqüència, proposa la complementarietat entre polítiques específiques contra el canvi climàtic i polítiques de R+D+I, amb altres polítiques, com l'educativa, i també entre països.

A més petita escala, cal també complementarietat entre els diferents estaments, indústria, administracions i centres de recerca per buscar la màxima eficiència en la implementació d'innovacions. Aquesta col·laboració s'hauria d'anar estenent a tots els sectors productius com ja s'ha fet parcialment en algun.

Referències

- ALCÀNTARA, Vicent; PADILLA, Emilio; ROCA JUSMET, Jordi (2009). «Emissions de gasos amb efecte hivernacle derivades del consum d'energia». A: RAMOS MARTÍN, Jesús (2009). *Ús de l'energia a Catalunya. Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana* (AMEEC); Barcelona: Generalitat de Catalunya, CADS, p. 129-145. (Informes del CADS, 8).
- CEMBUREAU (2009). *Sustainable Cement Production. Co-processing of alternative fuels and raw materials in the european cement industry*. Brussel·les: CEMBUREAU.
- Diari Oficial de la Unió Europea (DOUE) L275 de 25/10/2003 i L140/63 de 05/06/2009
- Documento de Visión de la Eficiencia Energética en España* (2009). Plataforma Tecnológica Española de la Eficiencia Energética.
- DOMÍNGUEZ, Martí. (2009). «Comunitat científica i comunitat cultural», *Cultura* 3 (gener de 2009) Generalitat de Catalunya, p. 114.
- <http://www.gencat.cat/medi_ambient agost del 2009>.
- Seleccioneu «Canvi Climàtic» i als destacats, «Evolució de les emissions a Catalunya».
- <http://www.mediambient.gencat.cat/cat/el_medi_atmosfera/comerc_emissio/doc/vegeh_08.pdf>
- ICAEN (2009). *Cultura energètica*, 170, Barcelona: Institut Català de l'Energia, p. 24.
- INSTITUT CERDÀ. *Reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España*. Treball de l'Institut Cerdà per a Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente. Any 2009.

- IPPC (2007). *Fourth Assessment Report*, Working Group III, Chapter 7, Industry.
- LOVINS, Hunter (2008). «Repensar la producció». A: WORLDWATCH INSTITUTE. *L'estat del món 2008 – Innovacions per a una economia sostenible. Informe del sobre el progrés cap a una societat sostenible*; Barcelona: Angle Editorial, p. 39.
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (OCCC) (2008). *Pla marc de mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2008-2012*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, OCCC.
- PAYET, Jordi; RELEA, Ferran; SALA, Josep Maria [et al.] (2009). *La incineració i el futur de les polítiques de gestió de residus*; Barcelona: Col. d'Enginyers Industrials de Catalunya. (Monografies, 9).
- Pla de l'Energia de Catalunya 2006 – 2015* (2009). Barcelona, Generalitat de Catalunya.
- VEGARA, Josep Maria; BUSOM Isabel; COLLDEFORNIS, Montserrat [et al.] *El canvi climàtic: anàlisi i política econòmica. Una introducció* (2009). Barcelona: La Caixa, p. 81-133. (Estudis econòmics, 36).

19. El turisme

David Saurí¹ i Joan Carles Llurdés²

¹ Departament de Geografia i Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona.

² Departament de Geografia i Escola Universitària de Turisme i Direcció Hotelera, Universitat Autònoma de Barcelona.

David Saurí Pujol (Barcelona, 1958) es va llicenciar en Filosofia i Lletres per la Universitat Autònoma de Barcelona el 1981. El 1983 va obtenir una beca Fulbright per ampliar els seus estudis de Geografia a la Universitat de Clark (Worcester, Massachusetts, EUA). Es doctorà el 1990, amb una tesi sobre la història de la gestió de l'aigua a Nou Mèxic. També és doctor en Geografia per la Universitat Autònoma de Barcelona on, des de 1988, imparteix docència en la titulació de Geografia, i des de 1993 en la titulació de Ciències Ambientals. Ha estat director del Departament de Geografia de l'UAB (1997-1999) i director del Centre d'Estudis Ambientals de la mateixa universitat (2000-2003). Des de febrer de 2005 és catedràtic de Geografia Humana de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Joan Carles Llurdés és doctor en Geografia Humana (Universitat Autònoma de Barcelona). Imparteix docència presencial al Departament de Geografia, a l'Escola Universitària de Turisme i Direcció Hotelera (ambdós a la UAB) i a la Universitat Oberta de Catalunya (UOC). La seva docència es relaciona amb la Cartografia, la Geografia del turisme i el Turisme cultural, mentre que la seva recerca centra en temes de planificació del turisme, conflictes territorials, reconversió de zones mineres en zones turístiques i turisme i canvi climàtic. Ha publicat articles en revistes d'àmbit nacional i internacional i també ha col·laborat en diverses obres col·lectives així com en el primer *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*.

Resum	839
Introducció	841
19.1. Turisme i canvi climàtic: evolució del coneixement i de les accions 2003-2009	841
19.2. El turisme a Catalunya i al món. Tendències en el període 2003-2009	844
19.3. Característiques de l'oferta turística a Catalunya	849
19.4. Escenaris climàtics a Catalunya i possibles efectes en l'oferta turística	855
19.4.1. Els impactes sobre el turisme de sol i platja	855
19.4.2. Impactes del canvi climàtic en el turisme d'hivern català: evidències recents	857
19.4.3. Impactes en el turisme alternatiu	859
19.4.4. Estratègies davant el canvi climàtic	859
19.4.5. Estratègies al turisme de sol i platja	860
19.4.6. Estratègies al turisme d'hivern	860
19.4.7. Estratègies al turisme alternatiu	864
19.5. Conclusions	864
Referències	866
Annex Enquesta sobre els possibles efectes del canvi climàtic en el sector turístic català	868

Resum

Catalunya ha esdevingut la primera destinació espanyola en turisme internacional, mentre que el conjunt de l'estat és la segona a nivell mundial, darrera França. El turisme continua essent la primera activitat econòmica de Catalunya (10-12% del PIB i en torn d'un 10% de la població ocupada) i es caracteritza per una elevada diversitat de modalitats i una capacitat excel·lent d'adaptació a nous reptes. Això no obstant, el període que s'obre amb la crisi econòmica del 2007 planteja interrogants molt importants sobre el segment turístic del «sol i platja», sense cap mena de dubte i de llarg, el que té un major impacte en la creació de riquesa i ocupació. La forta competència de noves destinacions (l'Adriàtic, la Mediterrània oriental, el nord d'Àfrica) i unes estructures i equipaments obsolets en fan inevitable la reconversió, amb activitats més diversificades i, probablement, amb una major atenció a la qualitat ambiental.

L'oferta de l'allotjament a Catalunya no ha variat significativament en el període del 2002 al 2007, i es concentra molt en poc més de 10 comarques que, gairebé, són les mateixes que les que encapçalen els rànquings de l'allotjament hotel·ler i de càmping. Per contra, pel que fa a l'opció del turisme rural, només una comarca (l'Alt Empordà) repeteix a totes tres modalitats analitzades.

El turisme basat en els esports hivernals i en concret l'esquí, sembla haver arribat a un sostre en la seva expansió, tot i que les darreres temporades han estat francament bones. Afectat també per la crisi immobiliària de finals de dècada (que ha deixat en suspens diversos projectes com el de la Vall Fosca), el sector intenta adaptar-se a les incerteses climàtiques amb l'expansió de la neu artificial i en alguns casos amb la reconversió de les estacions d'esquí en estacions de muntanya. Finalment, tot el conjunt, encara molt minoritari, definit com turisme alternatiu (rural, d'aventura, «ecològic», etc.) és el que presenta una millor situació en haver quedat relativament al marge de la crisi. En la mesura que pertorbacions com ara incendis forestals, plagues o altres riscos naturals no alterin de manera significativa el patrimoni natural i cultu-

ral català, aquest sector pot créixer i segurament creixerà encara més durant les properes dècades.

Pel que fa a les relacions entre turisme i canvi climàtic, cal continuar destacant un cert desinterès pel tema, tant des del propi sector (amb la possible i fins a cert punt lògica excepció de l'esquí) com des de la pròpia comunitat científica. A diferència d'altres països, on almenys en l'àmbit de la recerca hi ha força activitat, durant els darrers sis anys continuen essent escassos els treballs científics que s'ocupen d'aquest àmbit, amb excepcions com el dels investigadors de l'Institut de Medi Ambient de la Universitat de Girona sobre la Costa Brava. Amb tot, alguns projectes de recerca recentment finançats poden contribuir a pal·liar aquesta situació.

Pel que fa als impactes del canvi climàtic sobre el sector turístic català, el turisme de sol i platja continua semblant relativament poc vulnerable pels majors impactes que tindran les destinacions competidores, i per la possibilitat de desestacionalitzar l'oferta. L'estiu del 2003, que hom ha comparat al que podria ésser un estiu típic cap a finals del s. XXI, no implicà en absolut una pèrdua de turistes a les platges catalanes per manca de confort. Altrament, hom creu que impactes com l'escassetat de recursos hídrics o l'augment del nivell del mar es poden gestionar amb l'aplicació de noves tecnologies com la dessalinització o la construcció d'obres de defensa marítima. En tot cas, la disponibilitat d'energia (aires condicionats, dessalinització) serà un dels reptes clau del futur del sector a Catalunya.

El turisme d'hivern continua essent la modalitat més vulnerable al canvi climàtic i també la que més s'esforça en desenvolupar adaptacions com la fabricació de neu artificial, amb més de 2.200 canons l'any 2009, o la diversificació d'activitats fora de l'estació hivernal. Finalment, les formes alternatives de turisme presenten també una vulnerabilitat relativament alta (en dependre molt del patrimoni natural o cultural) però, a la vegada, són les que més es poden beneficiar de polítiques territorials i ambientals no estrictament vinculades amb el clima.

Introducció

Tot i els sotracos que la crisi econòmica actual està causant en el sector, el turisme continua sent clau en l'economia catalana, amb contribucions al PIB i ocupació que es situen entorn del 10% dels totals respectius. La gran diversificació del turisme català, tanmateix, fa que l'impacte de la crisi sigui molt diferent segons la modalitat. Si bé els efectes sobre el segment de sol i platja han estat, i continuen sent, molt negatius, el turisme d'hivern ha vist com la temporada 2008-2009 ha estat una de les millors de la seva història, mentre que per la seva banda el turisme rural continua trencant rècords de freqüentació. Tal com afirmàvem en el primer Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, totes aquestes modalitats (i d'altres) depenen estretament de les condicions climàtiques i, per tant, tenen una relació molt directa amb el fenomen del canvi climàtic.

Tanmateix, i tot i les evidències creixents sobre aquesta relació i els greus impactes que el canvi climàtic podria ocasionar en el turisme català, la impressió dels experts en turisme que hem consultat (vegeu l'apèndix 1) és que el sector turístic català continua ignorant, o fins i tot menystenint, aquest tema. En part, i com era el cas al 2003, aquesta actitud està segurament relacionada amb les incerteses que envolten el tema (incerteses alimentades per la preocupant manca d'estudis científics sobre les relacions entre el canvi climàtic i el turisme a Catalunya), i també pel major pes de les qüestions conjunturals i de curt termini en les preocupacions del sector. Tot i això, també cal reconèixer que la influència de la sostenibilitat i de les actituds ambientals cada cop són més paleses en el sector turístic. Moltes enquestes assenyalen que els usuaris tendeixen a ser més exigents en matèria ambiental, i que el medi ambient ha esdevingut un criteri clau en la selecció de les destinacions. Arran del fet que moltes les accions de mitigació i adaptació al canvi climàtic acostumen a coincidir amb bones pràctiques ambientals (estalvi d'aigua i energia, minimització de residus, transport sostenible, etc.), és probable que en el futur el sector vagi prenent mesures i emprenent accions que, si bé no estarien estrictament orienta-

des a la mitigació i adaptació al canvi climàtic, sí contribuirien segurament a l'assoliment d'objectius en aquest camp. De fet, per a molts especialistes, la sortida a la crisi actual del model de sol i platja passa, precisament, per reconvertir i diversificar el sector en una direcció molt més ambientalista.

Aquest capítol segueix a grans trets la mateixa estructura de l'anterior publicat al primer Informe. Així, a continuació es fa una revisió de les principals aportacions científiques a l'estudi de les relacions entre canvi climàtic i turisme, un camp de coneixement que no deixa d'expandir-se malgrat les llacunes existents, especialment al nostre país, i, tanmateix, també es comenten els resultats d'algunes conferències internacionals dedicades a aquesta temàtica (p. ex., la conferència de Davos de l'any 2007). El tercer apartat es dedica a l'anàlisi de les principals tendències turístiques a Catalunya i al món per al període 2003-2009; mentre que al quart revisem l'evolució de l'oferta turística a Catalunya i l'aportació del sector a l'economia catalana en els darrers sis anys. Al cinquè apartat presentem i valorem l'evolució del turisme de sol i platja, del turisme d'hivern i d'altres maneres de turisme amb relació al canvi climàtic; mentre que al sisè analitzem l'evolució de les estratègies adaptatives en cadascuna d'aquestes modalitats. Finalment, a les conclusions es resumeixen els aspectes més significatius del treball i es proposen algunes possibles línies de recerca per al futur. De la mateixa manera que vam fer per a l'informe de 2003, hem recollit un total de 39 enquestes efectuades a experts i professionals del turisme que es comenten a l'apèndix 1.

19.1. Turisme i canvi climàtic: evolució del coneixement i de les accions 2003-2009

L'any que es va elaborar el primer *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (2003) fou també un any amb diverses iniciatives de recerca sobre les relacions entre turisme i canvi climàtic, com ara la Conferència de Djerba (Tunísia) i la formalització d'una xarxa d'experts en canvi climàtic i turisme (<http://www.icas.unimaas.nl/eclat/>). De fet, a partir de 2003, les relacions entre turisme i canvi

climàtic han rebut una atenció creixent: el nombre de publicacions científiques, que ja es va duplicar entre els anys 1996-2000 i 2001-2005, continua augmentant en les revistes especialitzades i sovintegen també els congressos i reunions científiques internacionals, al voltant d'una vintena entre 2003 i 2009. En aquest sentit, l'octubre de 2007 es celebrà a Davos (Suïssa) la segona conferència sobre Canvi Climàtic i Turisme. També cal esmentar la *International Conference on Climate Change Impacts on Tourism*, celebrada a Portugal al 2007, així com l'anomenada *Climate Change and Tourism Conference: Tourism and Climate Change Mitigation* celebrada als Països Baixos l'any 2006).

Si la conferència de Djerba i la consegüent declaració no van tenir un ressò gaire gran a escala internacional, la conferència de Davos sí ho va aconseguir; en part, per la presentació del que potser sigui l'informe més exhaustiu sobre canvi climàtic i turisme elaborat fins ara, un encàrrec conjunt del Programa de Medi Ambient de les Nacions Unides, l'Organització Mundial de Turisme i l'Organització Mundial de Meteorologia. El treball comença resumint les conclusions principals del darrer informe de l'IPCC i assegura que, com totes les altres activitats econòmiques, el turisme haurà d'afrontar el repte del canvi climàtic mitjançant mesures d'adaptació i de mitigació. De la mateixa manera que l'agricultura, el turisme es mostra sensible a les condicions climàtiques, però, per contra, sembla tenir una capacitat d'adaptació prou elevada ja que ha estat capaç de superar problemes molt greus com ara atacs terroristes, malalties infeccioses o calamitats naturals com el tsunami d'Àsia de 2004. En qualsevol cas, l'informe també adverteix de la necessitat d'anticipar possibles adaptacions a episodis que poden ser totalment inesperats (p. ex., l'hivern excepcionalment càlid de 2006-2007 als Alps o l'onada de calor de 2003 a Europa). Altrament dit, i amb una certa preocupació, s'assenyala també que hi ha una certa tendència a sobreestimar la capacitat adaptativa del sector (neu artificial, aigua dessalada, etc.) i es remarca que encara no té plena consciència de la importància del tema.

Una altra conferència destacable per centrar-se específicament en el segment de sol i platja a

la Mediterrània va ser la *Coastal Tourism in the Mediterranean: Adapting to Climate Change*, celebrada a Cagliari (Sardenya) el juny de 2009, i que va tenir una destacada participació d'alts càrrecs de l'Organització Mundial de Turisme. Igualment, certs projectes de recerca de la Unió Europea (p. ex., el PESETA) s'han ocupat dels impactes del canvi climàtic sobre el turisme.

Per a Dubois i Ceron (2006) una possible causa que el sector turístic encara no hagi cobrat plena consciència dels possibles impactes del canvi climàtic, es troba en les grans incerteses que envolten la disponibilitat i fiabilitat d'escenaris climàtics a escales local i regional. Si aquests escenaris encara no s'han desenvolupat, l'elevat grau d'incertesa que acompanyen les estimacions més generals fa molt difícil generar nova informació que pugui ser útil per a la presa de decisions. Els mateixos autors indiquen que afirmacions com ara «un descens d'un 10% en la coberta de neu de tal o tal estació d'esquí pot implicar un descens d'entre un 10 i un 30% en el nombre dels seus usuaris», suposa tanta incertesa que resulta molt poc útil per als gestors. En qualsevol cas, durant els darrers sis anys s'ha avançat força en el coneixement de les relacions entre canvi climàtic i turisme. A continuació, resumiren algunes de les aportacions més significatives classificades per grans temes:

Pel que fa a la mitigació, en primer lloc s'ha reforçat la hipòtesi que el turisme contribueix de manera no menyspreable al canvi climàtic. En l'informe presentat a la Conferència de Davos es donaren a conèixer per primera vegada dades estimatives d'emissions de CO₂ per a l'any 2005 per als tres subsectors turístics principals (transport, allotjament i activitats diverses), xifrades en 1.307 milions de tones (el 4,95% del total mundial). Lògicament, les emissions variaven molt en funció de la tipologia turística, i arribaven a un màxim de 9 tones per persona en creuers de llarg recorregut. Dels tres subsectors, el que més contribueix, i amb escreix, a les emissions, és el del transport, amb un 78%; mentre que l'allotjament aporta el 21%, i les activitats l'1% restant. Val a dir que el 40% de les emissions provenen del transport aeri, quan els viatgers que utilitzen l'avió només són el 17% del total; de fet, el turisme de vols intercontinentals tot just representa

el 2,7% del total de viatges, però el 17% de les emissions totals. Per contra, l'autocar i el ferrocarril apleguen el 34% dels viatges i només en generen el 13%. D'aquí que les polítiques de mitigació s'hagin de centrar especialment en els viatges amb avió a grans distàncies, que proporcionalment són poc importants dins el conjunt de viatges per motius turístics. En aquest informe, i com en altres sectors, la reducció en l'ús d'energia es veu com la mesura de mitigació més efectiva, que podria materialitzar-se reduint el nombre de viatges (fent estades més llargues a les destinacions, la qual cosa, però, entra en contradicció amb la tendència actual) o un canvi del mitjà de transport (p. ex., el tren per l'avió).

Un segon conjunt de treballs s'ha interessat a seguir investigant els possibles impactes del canvi climàtic en l'estacionalitat i fluxos de turistes. L'informe de Davos no anticipa tant un declivi del turisme a escala global i, en canvi, sí una redistribució substancial de la demanda turística entre meitat i finals del segle XXI. Un aspecte que sembla reunir un consens important és que aquesta redistribució beneficiaria les regions turístiques més temperades en detriment d'aquelles altres més càlides. Tant o més important que les realitats, especialment quan aquestes s'acompanyen per un elevat grau d'incertesa, són les percepcions alimentades molt sovint pels mitjans de comunicació. Així, es prou habitual llegir a la premsa notícies sense gaire fonament com ara que la Mediterrània es veurà afectada per temperatures extremes, o que ja no serà possible esquiar a Europa. Alguns autors com Amelung *et al.* (2007) han elaborat l'anomenat «Índex de confortabilitat turística», segons el qual les zones de màxima confortabilitat a Europa caldrà buscar-les progressivament a les latituds més altes, de manera que a l'any 2080, les condicions ideals per a la pràctica del turisme d'estiu es donaran al nord del continent. Mentrestant, la confortabilitat de la Mediterrània pot reduir-se dels set mesos actuals a menys de quatre, sobretot a la meitat oriental.

Tampoc no és coneix massa bé com el canvi climàtic pot interaccionar amb altres factors socials i culturals rellevants per a la pràctica turística. L'estacionalitat de les vacances, però, no depèn només de les condicions climàtiques, sinó

de molts altres factors, bona part vinculats als costums socials del país. Factors com l'envelliment, les vacances escolars, els avenços tecnològics en informació i transport, o les noves estratègies de flexibilitat del treball i lleure, poden esdevenir crítics en l'estacionalitat del turisme. En el model actual (concentració de les vacances laborals i escolars a l'estiu, períodes de vacances més o menys llargs, pes dominant de l'estiu, etc.), les variacions en l'estacionalitat climàtica podrien arribar a generar impactes seriosos en les destinacions mediterrànies. Ara bé, si com sembla, finalment tenen lloc canvis importants en aquests factors socials i culturals que governen l'estacionalitat, llavors els impactes poden ser menors i, fins i tot, positius fins a un cert punt. En aquest sentit, és important recordar que l'adaptació al canvi climàtic també pot venir per la via social i cultural, encara que porti més temps.

Quant al turisme d'hivern, i especialment a la pràctica de l'esquí, es continua insistint en la vulnerabilitat a l'escalfament global de moltes estacions d'esquí d'Europa, Amèrica, Austràlia i Nova Zelanda. Un dels estudis recents més complets és l'editat per l'OCDE sobre els Alps europeus (2007), i que assenyalava la vulnerabilitat potencial de les estacions d'esquí dels Alps a condicions més càlides, alhora que constata clarament la gran variabilitat d'aquests impactes en funció de la localització i alçada de les estacions. En tot cas, si ara un 90% de les estacions del massís són «fiables» en termes de la pràctica de l'esquí, amb un augment mitjà de la temperatura de 4 °C, aquesta proporció podria baixar fins al 50% i esdevenir crítica a indrets com els Alps marítics, Estíria o el Friül italià.

Molts estudis indiquen com una bona part de les estacions d'esquí arreu del món comencen a posar en pràctica mesures adaptatives per combatre la manca de neu, entre les quals la més freqüent (però no l'única) és la fabricació de neu artificial. També cal esmentar l'endegament dels vessants esquiables, el trasllat dels dominis esquiables a cotes més elevades, així com la contractació d'assegurances per a anys amb poca neu. La neu artificial és, sens dubte, la mesura més important, i tots els estudis assenyalen que encara ho serà més en el futur. Per exemple, el

59% dels dominis esquiables d'Àustria estan coberts per neu artificial, i en la temporada 2007-2008 s'hi van invertir més de 55 milions d'euros en aquesta activitat (Steiger i Mayer, 2008). Així doncs, aquest país és un bon exemple de com, malgrat que els propietaris i gestors de les pistes perceben els escenaris climàtics científics com incerts i poc clars, sí comencen a prendre mesures. Com en el cas d'altres adaptacions tecnològiques, la neu artificial pot ser una opció econòmicament atractiva, però els costos energètics, d'aigua o els impactes ambientals tendeixen a ser ignorats. A més, també caldrà veure la resposta dels usuaris a l'increment de preus que inevitablement comportarà la proliferació de la neu artificial.

La conferència *Coastal Tourism in the Mediterranean: Adapting to Climate Change*, citada abans ha estat, probablement, una de les fites més importants dels darrers sis anys en l'estudi de l'impacte del canvi climàtic en el turisme de sol i platja. En el seu text introductori es presenten les principals conclusions del darrer informe de l'IPCC per a l'àrea mediterrània i que, a grans trets, preveuen un augment important de la temperatura i més dificultats en la disponibilitat de recursos bàsics com ara l'aigua, a més d'un increment del nombre d'incendis forestals i onades de calor. En qualsevol cas, s'insisteix que és imprescindible desenvolupar escenaris, bo i tenint en compte l'enorme dificultat d'haver de treballar amb horitzons temporals molt diferents.

Deixant de banda el turisme de sol i platja i la pràctica de l'esquí, cal destacar també algunes contribucions científiques que s'ocupen de l'impacte del canvi climàtic sobre l'anomenat ecoturisme, turisme de natura o turisme d'aventura. Així, a indrets com el Nepal o Escandinàvia preocupen els efectes del canvi climàtic en els tipus de turisme encara minoritaris però emergents, especialment pel que fa a la proliferació de fenòmens extrems com allaus, esllavissades o inundacions (Tervo, 2008; Nyaupane i Chhetri, 2009). Altrament, la UNESCO ha identificat un conjunt de indrets declarats Patrimoni de la Humanitat (i, per tant, subjectes a una aflluència turística important) com a altament exposats a fenòmens naturals adversos induïts pel canvi climàtic, entre els quals hi figura Venècia (aug-

ment del nivell del mar), la Gran Barrera de Corall australiana (desaparició del corall), o el conjunt arqueològic de Chan Chan, a la costa nord del Perú (erosió i inundacions) (UNWTO, 2007).

En definitiva, de la revisió de les contribucions ara ressenyades es pot concloure que els impactes del canvi climàtic en el turisme poden ser més importants i es poden manifestar també més ràpidament del que es pensava cinc o sis anys enrere, alhora que el turisme és una de les activitats amb una vulnerabilitat més elevada. Malgrat la proliferació d'actes internacionals sobre el tema (molt especialment la conferència de Davos de 2007) i el creixement del nombre de publicacions científiques sobre la matèria, segueixen mancant estudis que puguin ajudar el sector turístic a la presa de decisions. Limitar l'activitat no sembla aconsellable des del moment que un nombre molt important de països (sobretot en vies de desenvolupament) en depenen i, a més, amb un pes creixent de les classes mitjanes d'altres com ara l'Índia, la Xina o Rússia que demanen i poden pagar per a aquesta activitat. Sí, cal treballar, però en mesures adaptatives i de mitigació, bo i vigilant les retroaccions que es generin (p. ex., mesures com la neu artificial o la dessalació necessiten importants quantitats d'energia que, alhora, poden contribuir a un increment de les emissions).

19.2. El turisme a Catalunya i al món. Tendències en el període 2003-2009

L'anterior informe ja es feia ressò de la importància del turisme com a vector de creixement econòmic en molts països al llarg de les darreres dècades, i de com és el sector que pot resistir millor que altres els períodes de crisi i estancament econòmic, com el que estem vivint actualment. Així, per exemple, si fem una ullada a l'evolució des de la segona meitat del segle xx —inici del turisme com a activitat de masses—, l'any 1950 el nombre total de turistes internacionals superava escassament els 25,3 milions. Aquesta dada, però, no ha deixat de créixer d'ençà aleshores (166 milions en 1970, 457 en 1990 i 924 milions en 2008), alhora que les previsions de l'Organització Mundial del Turisme (OMT) indicaven un augment del turisme internacional al món de prop del 4% anual fins el 2020, de manera que per a aquesta data es

preveia superar els 1.600 milions de turistes (figura 1).

Deixant de banda de l'exactitud d'aquestes previsions, només un període perllongat de crisi econòmica a escala mundial podria posar-les en entredit. I això és el que pot estar passant en aquests moments; així, mentre que durant la primera meitat de 2008 les xifres d'arribades de turistes es mantien en nivells del 5%, la tendència es va invertir dràsticament durant la segona meitat amb un decreixement del -1%, i es va tancar l'any amb un augment moderat de només el 2%. I per al conjunt de 2009 es preveu que aquesta tendència a la baixa continuï, o, com a molt, es mantingui estable.

Encara que l'evolució del turisme ha estat un tant irregular en aquests darrers anys, l'OMT manté per ara la seva previsió a llarg termini, ja que s'entén que les tendències bàsiques estructurals de la previsió no han canviat significativament. L'experiència demostra que, a curt termini, els períodes de més creixement (1995, 1996, 2000 i de 2004 a 2008) s'alternen amb uns altres de creixement més alentit (de 2001 a 2003). De fet, el creixement fins el 2008 ha superat lleugerament les previsions anteriors, ja que les arribades de turistes internacionals han estat d'una mitjana del 4,4%, aproximadament (1995-2007), en comparació de la previsió inicial del 4%.

Tot i haver una gran incertesa per a aquest any present (2009) i el reconeixement que al final tot

dependrà de l'evolució de les condicions econòmiques i la volatilitat dels mercats, és innegable que després d'uns primers anys de la dècada de 2000 amb una evolució del nombre de turistes certament estancada, a partir de 2004 la corba de creixement interanual torna a disparar-se, amb mínims del 5% i màxims del 10% (figures 2 i 3), per a una mitjana del 7%, molt per sobre del 4% de la tendència prevista a llarg termini.

A més del creixement mundial del nombre de turistes, cal destacar també el fet que ara són molts més països que abans que hi contribueixen. Així, segons la taula 1, el grup dels 5 primers països ha vist com el seu pes en el còmput global s'ha anat reduint, d'un 71% (1950) a un 32% (2007), mentre que simultàniament la participació de la resta

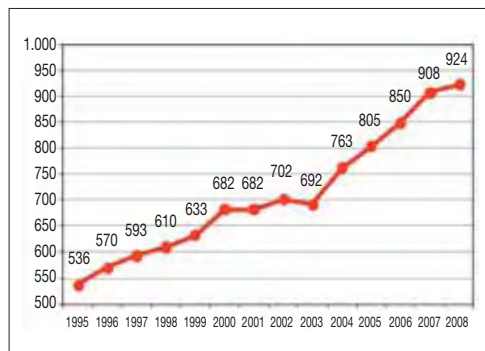


Figura 2. Arribades de turistes internacionals (1995-2008)
Font: OMT (2009b).

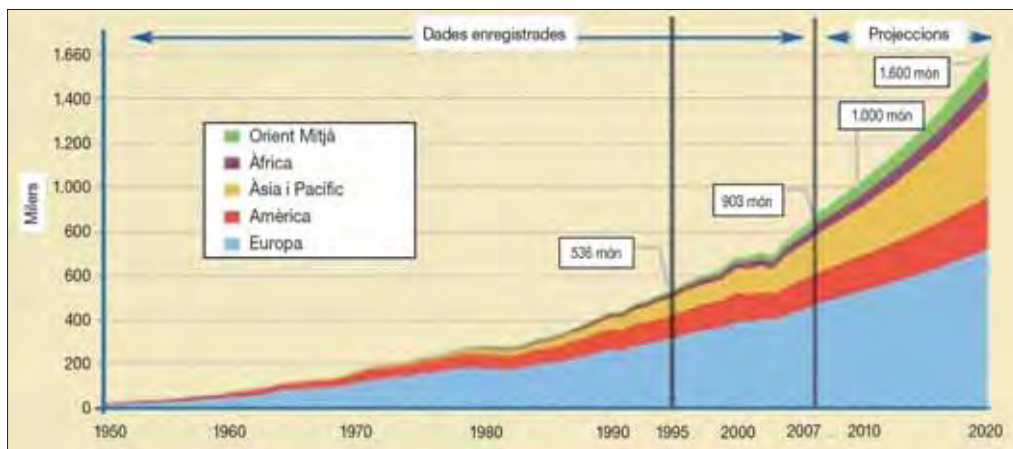


Figura 1. Evolució i previsió del turisme mundial (1950-2020)
Font: OMT (2009a).

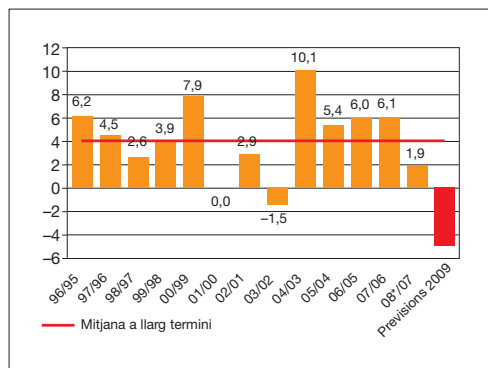


Figura 3. Variació interanual d'arribades de turistes al món (1995-2009)

Font: OMT (2009b).

de països no ha deixat d'augmentar. I si bé una bona part del mercat turístic es mou encara en l'àmbit dels països d'Europa i Amèrica del Nord (13 dels 15 països), als quals s'afegeix darrerament una part de l'Àsia, també és cert que els països en vies de desenvolupament tenen els creixements percentuals més espectaculars (taula 2).

Si ho analitzem per àmbits continentals, i amb una certa perspectiva temporal (de 2000 a 2007), les dades indiquen que tots registren un creixe-

ment i destaquen molt especialment l'Orient Mitjà (10%), Àfrica (6,9%) i Àsia i el Pacífic (7,8%), mentre que, per la seva banda, Europa i Amèrica s'han comportat més modestament. En aquest context mundial, val a dir també que la major part dels viatges internacionals tenen lloc entre grans conjunts continentals, és a dir, són desplaçaments intraregionals (p. ex., el 87% dels turistes europeus viatgen al mateix continent).

Tenint en compte que una bona part del turisme a Catalunya prové del continent europeu, seria interessant analitzar breument la situació d'aquest mercat. Amb les darreres dades disponibles agregades per continents (2007), Europa és la principal regió turística del món en concentrar més del 54% de les arribades internacionals de turistes i el 51% dels ingressos. El creixement experimentat en els darrers anys obeeix, en bona part, a uns molt bons resultats de l'Europa meridional i mediterrània (+7%), i sobretot dels Balcans (del 160% de Bòsnia i Hercegovina i del 48% de Sèrbia, al 7% de Croàcia o 8% d'Eslovènia). Entre les principals destinacions europees de sol i platja destaquen també l'augment de Turquia (18%) i la consolidació de Grècia i Portugal (9% cadascun), mentre que els dos països més importants d'aquesta sub-

Rànquing	País	1950	País	1970	País	1990	País	2001	País	2007
1	Estats Units	71%	Itàlia	43%	França	38%	França	35,1%	França	32%
2	Canadà		Canadà		Estats Units		Espanya		Espanya	
3	Itàlia		França		Espanya		Estats Units		Xina	
4	França		Espanya		Itàlia		Itàlia		Estats Units	
5	Suïssa		Estats Units		Hongria		Xina		Itàlia	
6	Irlanda	17%	Àustria	22%	Àustria	19%	Regne Unit	11,6%	Regne Unit	13,3%
7	Àustria		Alemanya		Regne Unit		Rússia ⁽²⁾		Alemanya	
8	Espanya		Suïssa		Mèxic		Mèxic		Ucraïna	
9	Alemanya		Iugoslàvia		Alemanya		Canadà		Turquia	
10	Regne Unit		Regne Unit		Canadà		Àustria		Mèxic	
11	Noruega	9%	Hongria	10%	Suïssa	11%	Alemanya	9%	Malàisia	10,3%
12	Argentina		Txecoslovàquia		Xina		Hongria		Àustria	
13	Mèxic		Bèlgica		Grècia		Polònia		Canadà	
14	P. Baixos		Bulgària		Portugal		Hong Kong		Grècia	
15	Dinamarca		Romania		Malàisia		Grècia ²		Hong Kong	
Altres	—	3%	—	25%	—	32%	—	—	—	44,4%
Total¹	25,3	100%	165,8	100%	457,2	100%	692,6	100%	764	100%

Taula 1. Països líders en arribades internacionals de turistes (els 15 primers) i participació en el mercat mundial (1950-2007).

1. Xifres en milions de turistes.

2. Dades de Rússia i Grècia no disponibles per a l'any 2001.

	Anys ¹					Quota mercat 2007 (%)	Creixement mitjà anual 2000-2007 (%)
	1990	1995	2000	2005	2007		
Món	436	536	683	803	903	100	4,1
Europa	262,6	311,3	393,5	440,3	484,4	53,6	3,0
Europa del Nord	28,6	35,8	43,7	52,8	57,6	6,4	4,0
Europa occidental	108,6	112,2	139,7	142,4	154,9	17,1	1,5
Europa central/oriental	31,5	60,6	69,4	87,8	95,6	10,6	4,7
Europa meridional/med	93,9	102,7	140,8	157,3	176,2	19,5	3,3
Àsia i Pacífic	55,8	81,8	109,3	154,6	184,3	20,4	7,8
Nord-est d'Àsia	26,4	41,3	58,3	87,5	104,2	11,5	8,6
Sud-est d'Àsia	21,1	28,2	35,6	48,5	59,6	6,6	7,6
Oceania	5,2	8,1	9,2	10,5	10,7	1,2	2,2
Àsia meridional	3,2	4,2	6,1	8,1	9,8	1,1	7,1
Amèrica	92,8	109,0	128,2	133,4	142,5	15,8	1,5
Amèrica del Nord	71,7	80,7	91,5	89,9	95,3	10,6	0,6
Carib	11,4	14,0	17,1	18,8	19,5	2,2	1,9
Amèrica Central	1,9	2,6	4,3	6,4	7,7	0,9	8,6
Amèrica del Sud	7,7	11,7	15,3	18,2	19,9	2,2	3,9
Àfrica	15,2	20,1	27,9	37,3	44,4	4,9	6,9
Nord d'Àfrica	8,4	7,3	10,2	13,9	16,3	1,8	6,8
Àfrica Subsahariana	6,8	12,8	17,7	23,3	28,2	3,1	6,9
Orient Mitjà	9,6	13,7	24,4	37,8	47,6	5,3	10,0

Taula 2. Arribada de turistes internacionals per regions continentals (1990-2007).

Font: OMT (2008).

1. Xifres en milions de turistes.

regió (Itàlia i Espanya) han tingut uns creixements més reduïts. En sentit contrari, l'evolució dels països de l'Europa occidental va ser, de mitjana, una mica més modesta (d'un 4%) (taula 3).

Catalunya ha mantingut una evolució força paral·lela a la dels països mediterranis, i per diferents factors (recursos turístics, proximitat als mercats emissors europeus més importants, etc.) ha aconseguit assolir i mantenir una posició de privilegi, tant dins el mercat espanyol com dins l'europeu i mundial. Tot i així, abans d'entrar en detall a la seva oferta, val la pena fer un breu recordatori de la reflexió que es feia a l'informe anterior sobre l'evolució que ha tingut lloc en els darrers anys, i del que pot succeir en un futur més o menys immediat.

Així, es reflexionava bàsicament sobre els següents aspectes:

- Un estancament del principal turisme, el de sol i platja. Així, malgrat el pes que té encara aquest segment, hom pot pensar també en un cert estancament i, ni que sigui amb evolucions interanuals, tot sembla indicar que ja s'han de descartar els nivells de creixement que l'han caracteritzat en períodes anteriors. Per exemple, el 2008, les zones més centrades en el turisme de sol i platja —Tarragona i Girona— van perdre un 5,3% i un 3,5% de turistes respectivament en comparació amb l'any anterior (Cinert, 2009).
- Els límits del turisme basat en l'esquí. Malgrat que el mercat català continua en expansió i

Destinacions principals	Anys ¹			Variació (%)		Quota 2007 (%)
	2005	2006	2007	06/05	07/06	
Europa	440.308	462.176	484.407	5,0	4,8	100
Àustria	19.952	20.269	20.766	1,6	2,5	4,3
Bèlgica	6.747	6.995	7.045	3,7	0,7	1,5
Bulgària	4.837	5.158	5.151	6,6	-0,1	1,1
Croàcia	8.467	8.659	9.307	2,3	7,5	1,9
República Txeca	6.336	6.435	6.680	1,6	3,8	1,4
França	75.908	78.900	81.900	3,9	3,8	16,9
Alemanya	21.339	23.498	24.420	10,1	3,9	5,0
Grècia	14.765	16.039	17.518	8,6	9,2	3,6
Hongria	9.979	9.260	8.638	-7,2	-6,7	1,8
Irlanda	7.333	8.001	-	9,1	-	-
Itàlia	36.513	41.058	43.654	12,4	6,3	9,0
Països Baixos	10.012	10.739	11.008	7,3	2,5	2,3
Polònia	15.200	15.670	14.975	3,1	-4,4	3,1
Portugal	10.612	11.282	12.321	6,3	9,2	2,5
Rússia	19.940	20.199	-	1,3	-	-
Espanya	55.914	58.190	59.193	4,1	1,7	12,2
Suïssa	7.229	7.863	8.448	8,8	7,4	1,7
Turquia	20.273	18.916	22.248	-6,7	17,6	4,6
Ucraïna	17.613	18.936	23.122	7,4	22,1	4,8
Regne Unit	28.039	30.654	30.677	9,3	0,1	6,3

Taula 3. Turisme internacional a Europa (2005-2007)

Font: OMT (2008).

1. Xifres en milers de turistes.

que la temporada 2008-2009 ha estat de les millors de la història, el sector continua patint serioses dificultats, reflectides en casos com la suspensió de pagaments de l'empresa que construïa el projecte de la Vall Fosca, o l'aturada d'altres iniciatives.

- La recuperació i revalorització d'altres recursos turístics i l'expansió del turisme vers les zones de l'interior. Es parlava, doncs, del turisme rural i altres ofertes més estretament lligades a l'esport, la natura i el paisatge. En altres paraules, una expansió de les opcions turístiques que s'engloben generalment en la categoria del turisme sostenible o alternatiu (tot i que de vegades una etiqueta i l'altra no van agafades de la mà). D'altra banda, tenim també una expansió d'altres opcions turístiques en les quals els elements de la cultura (i el patrimoni en general) han esdevingut els principals protagonistes, bé sigui en entorns rurals i de muntanya, bé en altres plenament urbans.
- La diversificació de productes turístics al litoral (p. ex., parcs aquàtics, projectes de parcs temàtics, camps de golf, activitats esportives, etc.) i una integració amb el rerepaís més immediat (la combinació d'estades al litoral amb la possibilitat de visitar indrets reconeguts per la seva oferta turística, monumental, gastronòmica, festiva, paisatgística, etc.).
- La necessitat d'ofertes globals i integrades, amb productes sense gaire viabilitat si s'ofereixen per separat. La competència d'altres destinacions està forçant el sector a un esforç i una aposta més ferma per variables que fins no fa gaire no s'havien tingut gaire en compte (diferenciació, qualitat, fidelització, més competitivitat, etc.).
- El repte de la sostenibilitat. En bona part, el sector ja ha tocat sostre des del punt de vista quantitatiu, i més que esperar creixements per als propers anys, el que cal és potenciar la qualitat de les destinacions (sobretot l'ambiental, doncs l'entorn ha d'esdevenir el principal atractiu de

Catalunya) i dels productes. Paral·lelament, és necessària la implementació d'estratègies de canvi en el model de gestió turística dirigides cap a un model molt més diversificat, desestacionalitzat, que emfatitzi la qualitat del producte i la seva integració amb el territori, l'economia, la societat i la cultura del país.

19.3. Característiques de l'oferta turística a Catalunya

Amb relació a l'informe anterior, val a dir que el model de desenvolupament turístic català continua presentant un clar biaix que es manifesta de diverses maneres. Una d'elles és la gran «litoralització» de l'activitat, que entronca amb el que es deia abans sobre l'enorme pes del turisme a totes les comarques del litoral. I un segon element que cal tenir en compte ha estat la continuïtat en la identificació que es fa molt sovint entre el turisme i l'activitat hotelera i, sobretot, amb el sector immobiliari. Òbviament això ha coincidit amb la darrera onada constructiva, la qual s'ha manifestat, entre d'altres, en una expansió del fenomen de la segona residència cap a molts territoris, bé cap a aquells que ja mostraven una consolidació important del turisme residencial, bé cap a uns altres que darrerament s'hi han abocat de ple.

Pel que fa al conjunt de l'oferta d'allotjament turístic, el volum de places totals superava de poc el mig milió en 2007, entre les quals el pes de les hoteleres i de càmping és aclaparador, mentre que la participació de les rurals és, en-

cara, reduït (poc més de 14.000 o només un 2,7%). Tot i així, és preveu que l'oferta augmenti en el futur, sobretot en comarques (o marques) d'interior on el marge de creixement encara és gran per tractar-se de territoris turísticament poc aprofitats (mapa 1 i taula 4).

La concentració de turistes en unes determinades comarques a què abans s'ha fet referència tindrà, òbviament, el seu reflex en la seva capacitat d'allotjament. Pel que fa a l'opció hotelera, les comarques amb un major nombre de places són del litoral, i només en sis se'n concentren gairebé 192.000 (un 73,3%). Això palesa, un cop més, la importància del model turístic de masses de sol i platja (amb l'afegit de la ciutat de



Mapa 1. Catalunya. Les marques turístiques.

Comarca	Hotel·ler		Càmping		Rural		Total
	Places	%	Places	%	Places	%	
Barcelona	54.455	100	0	–	0	–	54.455
Catalunya Central	11.215	56,4	6.513	32,8	2.149	10,8	19.877
Costa Brava	73.128	40,2	106.054	58,3	2.749	1,5	181.931
Costa Daurada	53.351	47,9	56.661	50,9	1.322	1,2	111.334
Costa del Garraf	15.108	65,6	7.411	32,2	495	2,2	23.014
Costa del Maresme	33.751	65,2	17.914	34,6	119	0,2	51.784
Pirineus	15.091	30,5	28.904	58,4	5.463	11,1	49.458
Terres de Lleida	4.626	68,6	1.141	16,9	976	14,5	6.743
Val d'Aran	5.541	67,2	2.559	31,0	147	1,8	8.247
Terres de l'Ebre	4.566	36,3	7.202	57,4	780	6,3	12.548
Total	270.832	52,1	234.359	45,1	14.199	2,7	519.390

Taula 4. Capacitat d'allotjament turístic reglat per marques turístiques a Catalunya l'any (2007)

Font: Basat en dades de l'Observatori de Turisme de Catalunya.

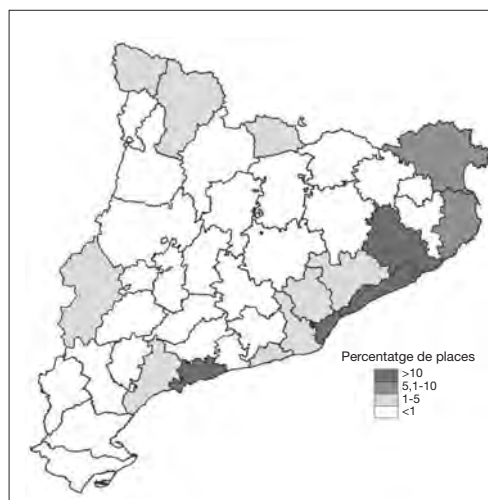
Barcelona) i ni tan sols les dues comarques pirinenques més turístiques —la Val d'Aran i la Cerdanya— tenen un volum de places hoteleres semblant, ni de lluny, a les anteriors (taula 5 i mapa 2). A més, si comparen les dades de l'any 2007 amb les de 2002 (les disponibles a l'anterior informe), s'observa com les 10 primeres comarques són les mateixes i només hi ha hagut alguns canvis en l'ordre. D'altra banda, el volum total de places s'ha reduït molt poc (menys de l'1%) i la concentració de places hoteleres segueix la mateixa tendència de fa uns anys enrere.

Les darreres dades disponibles sobre l'evolució de l'allotjament (de 2008) només fan referència, malauradament, a la modalitat hotelera. Tot i així, no seria forassenyat fer una extrapolació cap a les altres dues considerades en aquesta anàlisi. Així, l'any 2008 reflecteix molt clarament l'aturada del creixement de la demanda hotelera, que encara coincideix, però, amb un procés d'expansió de l'oferta. D'aquesta manera, les taxes d'ocupació i els preus ja es fan ressò dels efectes d'una conjuntura actual gens expansiva. L'empitjorament significatiu del context macroeconòmic d'ençà l'estiu de 2008, i la seva clara intensificació als primers mesos de 2009 dibuixen un escenari en absolut optimista.

Així, les dades de la demanda hotelera a Catalunya se situaven en 2008 a una posició d'atonía o de «creixement zero», que resultaria no tan sols

dels efectes de la desacceleració, sinó també d'un «efecte de saturació» dels fluxos turístics que ja es venia observant des de 2007. Altrament dit, el 2009 hauria de ser considerat un any de «resistència» per al sector hotelier català i, en conseqüència, per a bona part del sector turístic (Cinert, 2009).

Pel que fa a la modalitat de l'allotjament de càmping, els dos anys considerats (2002 i 2007)



Mapa 2. Allotjament hotelier a Catalunya per comarques el 2007 (percentatge de places).

Font: Institut d'Estadística de Catalunya (data de consulta: 13 de febrer del 2009).

Comarca	2002		2007	
	Places	% Places	Places	% Places
Barcelonès	37.296	15,6	49.084	18,8
Selva	44.884	18,8	43.002	16,4
Tarragonès	32.056	13,4	37.261	14,2
Maresme	35.366	14,8	34.474	13,2
Alt Empordà	15.022	6,3	14.331	5,5
Baix Empordà	15.439	6,5	13.764	5,3
Baix Camp	8.126	3,4	8.709	3,3
Baix Llobregat	4.400	1,8	7.189	2,7
Garraf	4.552	1,9	5.531	2,1
Val d'Aran	4.881	2,0	5.424	2,1
Acumulat 10	200.274	84,5	218.769	83,6
Resta comarques	37.850	15,5	42.779	16,4
Total	238.124	100,0	261.548	100,0

Taula 5. Allotjament hotelier a Catalunya per comarques els anys 2002 i 2007*

Font: Direcció General de Turisme (dades de 2002) i Observatori de Turisme de Catalunya (dades de 2007).

* Comarques ordenades a partir de les dades de l'any 2007.

Comarca	2002		2007	
	Places	% Places	Places	% Places
Baix Empordà	51.790	22,0	52.325	21,2
Alt Empordà	32.252	13,7	32.482	13,1
Tarragonès	26.593	11,3	27.444	11,1
Baix Camp	24.502	10,4	25.157	10,2
Selva	19.655	8,3	19.631	7,9
Maresme	15.925	6,7	17.884	7,2
Baix Llobregat	6.948	2,9	9.614	3,9
Garraf	7.143	3,0	7.683	3,1
Pallars Sobirà	6.288	2,7	6.148	2,5
Baix Ebre	4.302	1,8	5.043	2,0
Acumulat 10	195.398	82,8	204.264	82,3
Resta comarques	40.367	17,2	42.724	17,7
Total	235.765	100,0	246.988	100,0

Taula 6. Allotjament en càmping a Catalunya per comarques* els anys 2002 i 2007.

Font: Direcció General de Turisme (dades de 2002) i Observatori de Turisme de Catalunya (dades de 2007).

* Comarques ordenades a partir de les dades de l'any 2007.

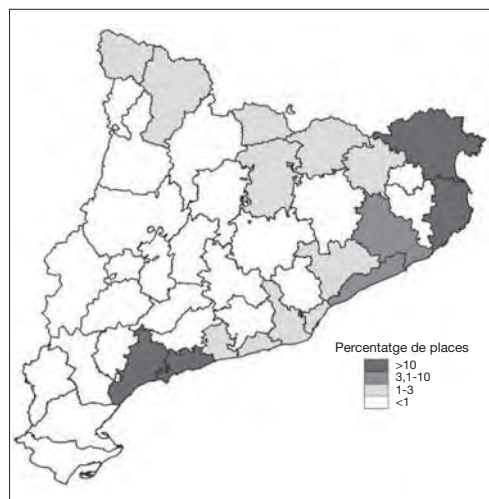
reflecteixen una situació invariable, i ni tan sols hi ha gaires canvis en l'ordre de les 10 primeres comarques (només el Garraf i el Baix Llobregat). Igual que en cas de l'allotjament hotel·ler, la concentració de places de càmping en les 10 primeres comarques s'ha mantingut constant (taula 6 i mapa 3).

Finalment, amb les dades de l'allotjament rural observem que és la modalitat que ha expe-

rimentat més canvis, tant quant a les comarques més importants, com també a algunes magnituds. En primer lloc, el Pla de l'Estany i el Pallars Jussà, dues comarques que l'any 2002 se situaven entre les 10 primeres, deixen de ser-hi en 2007, i es veuen substituïdes pel Pla d'Urgell i el Solsonès. En segon lloc, la concentració territorial de les places es redueix notòriament més que a les altres dues modalitats, en passar del 59% al 51% (entre aquestes 10 comarques principals). Tercer, i últim, malgrat que a nivell individual les comarques perden pes percentual d'un any per a l'altre (fet que indicaria una major difusió territorial), totes sense excepció augmenten en termes absoluts el seu nombre de places d'allotjament rural (taula 7 i mapa 4).

En definitiva, l'oferta de l'allotjament a Catalunya no ha variat significativament en el període de 2002 a 2007, i es concentra molt en poc més de 10 comarques que, gairebé, són les mateixes que les que encapçalen els rànquings de l'allotjament hotel·ler i de càmping. Per contra, pel que fa a l'opció del turisme rural només una comarca (l'Alt Empordà) repeteix a totes tres modalitats analitzades.

Quant a la capacitat total, destaquen els augments de les comarques del Tarragonès i, sobretot, el Barcelonès, amb un 7,4% i un 20%, respectivament (la mitjana catalana és del 3,7%). I tot i que amb valors absoluts molt més reduïts,



Mapa 3. Allotjament en càmping a Catalunya, per comarques, el 2007 (percentatge de places).

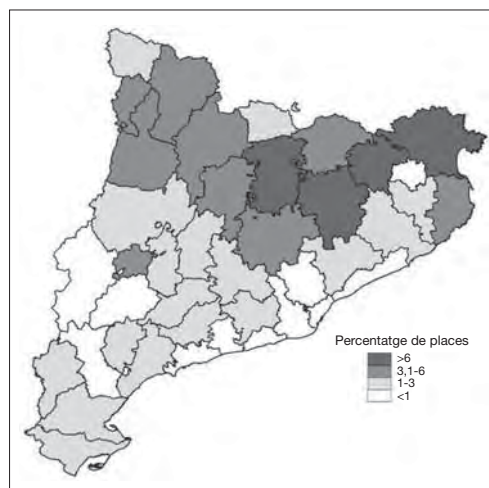
Font: Institut d'Estadística de Catalunya (data de consulta: 13 de febrer del 2009).

Comarca	2002		2007	
	Places	% Places	Places	% Places
Osona	485	6,3	942	6,9
Alt Empordà	598	7,8	941	6,9
Berguedà	543	7,1	928	6,8
Garrotxa	564	7,4	833	6,1
Ripollès	415	5,4	688	5,0
Pallars Sobirà	503	6,6	618	4,5
Pla d'Urgell	–	–	597	4,4
Solsonès	–	–	521	3,8
Alt Urgell	325	4,2	477	3,5
Alta Ribagorça	360	4,7	440	3,2
Pla de l'Estany	378	4,9	–	–
Pallars Jussà	348	4,5	–	–
Acumulat 10	4.519	59,1	6.985	51,1
Resta comarques	3.129	40,9	6.644	48,9
Total	7.648	100	13.629	100,0

Taula 7. Allotjament rural a Catalunya per comarques* els anys 2002 i 2007.

Font: Direcció General de Turisme (dades de 2002) i Observatori de Turisme de Catalunya (dades de 2007).

* Comarques ordenades a partir de les dades de l'any 2007.



Mapa 4. Allotjament rural a Catalunya per comarques el 2007 (percentatge de places).

Font: Institut d'Estadística de Catalunya (data de consulta: 13 de febrer del 2009).

també són significatius els augments de quasi el 4% del Garraf i el Pallars Sobirà. En sentit invers, destaquen les reduccions del Baix Empordà i el Maresme, amb un 3% i un 5,2%, respectivament (taula 8 i mapa 5).

Des del punt de vista de l'impacte econòmic, el turisme representa aproximadament entre un

11 i un 12% del PIB català (2008) i un punt o dos més pel que fa a la creació de llocs de treball. A això s'ha d'afegir l'activitat d'«arrossegament» perquè és un sector molt transversal, que afecta a altres activitats econòmiques (comerç, restauració, transport, agències de viatge i altres productes no turístics). Així, i perquè en ens fem una idea, l'efecte expansiu del turisme en l'economia catalana es tradueix en uns ingressos diaris d'uns 80 milions d'euros per l'efecte directe i indirecte; simplificant, de cada 100 euros generats a l'activitat turística, 11 repercuteixen en la indústria agroalimentària, 8 en el sector tèxtil i 3 en el primari (Baró i Villafana, 2006, citat a Doinaire, 2009). Per tant, podríem dir que aquestes xifres ja són prou indicatives de la necessitat d'invertir en la millora de la competitivitat del sector i, a la vegada, d'implementar mesures vers una millor reglamentació de certs segments que, tot i ser molt importants avui dia en termes quantitatius, de cara al futur segurament aniran perdent pes proporcional (p. ex., el turisme massiu de sol i platja). Cal recordar que Catalunya és la primera destinació espanyola en turisme internacional, mentre que l'Estat és la segona a escala mundial, darrere França. No és gens fàcil continuar mantenint aquesta posició de lideratge en

Comarca	2002		2007		Variació 2002-2007
	Places	% Places	Places	% Places	
Baix Empordà	68.008	13,8	65.998	12,9	-2,95
Tarragonès	59.510	12,1	63.910	12,5	+7,39
Selva	64.707	13,1	63.013	12,3	-2,61
Maresme	53.302	10,8	50.502	9,9	-5,25
Barcelonès	40.908	8,3	49.084	9,6	+19,98
Alt Empordà	48.099	9,8	47.524	9,3	-1,23
Baix Camp	33.387	6,8	33.461	6,5	+0,22
Baix Llobregat	14.014	2,8	14.141	2,8	+0,90
Garraf	12.235	2,5	12.722	2,5	+3,98
Pallars Sobirà	9.508	1,9	9.883	1,9	+3,94
Acumulat 10	403.678	81,9	410.238	80,3	+1,62
Resta comarques	89.082	18,1	100.704	19,7	+13,04
Total Catalunya	492.760	100,0	510.942	100,0	+3,68

Taula 8. Capacitat total d'allotjament turístic de Catalunya per comarques el 2007*

Font: Direcció General de Turisme (dades de 2002) i Observatori de Turisme de Catalunya (dades de 2007).

* Comarques ordenades a partir de les dades de l'any 2007.

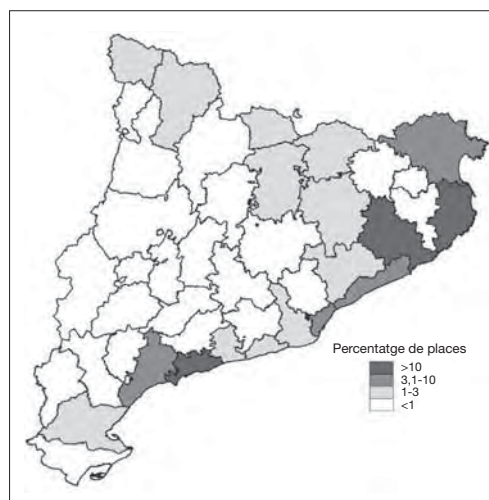
un sector tan competitiu i alhora tan sensible a les innovacions de la competència i a les variacions de la demanda.

Tot i així, cal ser molt curosos amb determinades xifres perquè d'uns anys ençà l'Institut Nacional d'Estadística (INE) i l'Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat) han deixat de calcular el PIB turístic perquè no es disposen de dades prou

desagregades per fer-ho fiablement. En qualsevol cas, l'ona expansiva del turisme afecta molts altres sectors estratègics catalans.

Malgrat la imprecisió de les dades de l'impacte econòmic del turisme en l'economia del país, hi ha uns altres indicadors que reflecteixen la seva incidència. En primer lloc, destaca el pes enorme del mercat estranger, ja que en els sis anys considerats gairebé triplica el procedent de la resta de l'Estat espanyol, a la vegada que la seva evolució s'ha mantingut estable (la diferència més extrema —anys 2004 i 2007— és del 18%), per sota de la que es dona en el mercat nacional, que és d'un 22% (entre els anys 2003 i 2007). Ara bé, una diferència més important entre ambdós mercats es refereix a l'estada mitjana, atès que el comportament del mercat estranger, tot i una certa irregularitat, és d'un cert creixement, mentre que el mercat nacional, tot i que lleugerament, mostra una certa tendència a la baixa (taula 9).

D'altra banda, sembla com si l'any 2007 marqués un petit punt d'inflexió en ambdós mercats. Pel que fa a l'estranger, s'observa un lleuger creixement, lluny, però, del de l'any anterior, que va ser del 7,1%. Val a dir també que els increments que s'han produït als darrers anys a Catalunya han estat del tot extraordinaris i responien, molt especialment, a l'expansió de les línies aèries de



Mapa 5. Allotjament total a Catalunya per comarques el 2007 (percentatge de places).

Font: Institut d'Estadística de Catalunya (data de consulta: 13 de febrer del 2009).

Mercat	Variable ¹	Any					
		2003	2004	2005	2006	2007	2008
Estranger	Nombre total	14.540	13.470	14.680	15.690	15.925	14.888
	Despesa	8.400	8.765	8.723	9.231	9.597	9.718
	Pernotacions	98.865	111.354	114.712	118.055	114.236	109.645
	Estada mitjana	6,9	8,3	7,8	7,5	7,2	7,4
Nacional ²	Nombre total	4.781	5.060	5.221	nd	5.830	5.632
	Despesa	1.485	1.651	1.684	nd	nd	1.985
	Pernotacions	29.160	31.293	31.698	nd	nd	31.101
	Estada mitjana	6,1	6,2	6,1	nd	4,0	5,8

Taula 9. Alguns indicadors del turisme a Catalunya (2003-2008).

Font: Observatori de Turisme de Catalunya (diversos anys).

1. Variable: Nombre total (milers) / Despesa (milions d'euros) / Pernotacions (milers de nits) / Estada mitjana (nombre de nits).

2. Mercat nacional: provinent de la resta de l'Estat espanyol i exclòs el de Catalunya.

baix cost cap aeroports secundaris catalans (és el cas de la companyia Ryanair a Girona, que ha afavorit una gran entrada de turistes britànics). En qualsevol cas, aquest aspecte s'ha ajustat darrerament a la baixa, sobretot en aquest mateix mercat, de manera que es podria afirmar que el 2007 ha esdevingut un any de forta desaceleració en la tendència d'expansió d'anys anteriors. I, segurament, el més significatiu i preocupant encara sigui per la reducció del volum de pernотacions dels turistes estrangers, atès que amb 114,2 milions s'haurien reduït al voltant d'un 3,3%, tendència que s'ha mantingut durant l'any 2008.

Ara bé, i seguint la dinàmica del mercat internacional, la previsió per a 2009 és (sense disposar de dades definitives) d'un clar estancament o, fins i tot, davallada en els principals indicadors. Això respon no tan sols a l'actual conjuntura de recessió econòmica, sinó també a un cert esgotament del model turístic, que no podrà seguir mantenint els nivells de creixement d'anys anteriors. Més aviat el contrari, si observem la tendència decreixent en indicadors com ara les pernотacions hoteleres i la despesa mitjana per turista. Això demostraria, una vegada més, que alguns dels pilars bàsics sobre els quals se sustenta el turisme català estan fallant i tenen una perspectiva, si més no, una mica compromesa.

Tot i així, no seria tampoc gens recomanable deixar de banda de manera dràstica el model turístic de masses. L'aposta per la qualitat per

sobre de la quantitat de turistes podria comportar una caiguda del nombre de visitants, sense que això fos compensat per un augment dels ingressos, la qual cosa tindria, sens dubte, uns efectes molt negatius en l'economia catalana. Altrament dit, si es tendís decididament cap a un model de turisme «més exclusiu» (com poden ser el golf i els ports nàutics, per esmentar dos productes turístics associats sovint a la variable de la qualitat), inevitablement tindria lloc una davallada del volum de turistes. I també cal tenir present que avui dia no hi ha a Catalunya cap altre sector econòmic que pugui compensar l'impacte que tindria en l'economia catalana una reducció dràstica de l'activitat turística (Duro, 2008).

Sense entrar en una anàlisi exhaustiva per nacionalitats, es pot dir que als darrers anys hi ha hagut un augment notable de mercats estrangers diferents als tradicionals i, de moment, alguns encara no gaire potents (Suïssa, països nòrdics, Rússia, EUA, Japó, etc.). Simultàniament, un mercat molt important com el francès s'ha mantingut més o menys fidel, mentre que a l'altre costat de la balança trobaríem els altres grans focus emissors (Alemanya, Itàlia, Regne Unit, Bèlgica i Països Baixos) que han estat, en conjunt, els causants de la reducció dels principals indicadors turístics del mercat estranger. Cal tenir present que aquests cinc països (més França) representen al voltant d'un 67% de tot el turisme forà a Catalunya.

D'altra banda, no s'ha de menysprear ni molt menys el pes que estan guanyant als darrers anys alguns mercats emergents, no tan sols els de l'Europa de l'Est, sinó també els provinents d'altres continents (p. ex., els turistes xinesos), així com la captació d'un major volum d'altres mercats amb molta més tradició de viatge però de poca presència a Catalunya (p. ex., nord-americans i japonesos).

19.4. Escenaris climàtics a Catalunya i possibles efectes en l'oferta turística

El punt de partida d'aquest apartat és, òbviament, el darrer informe de l'IPCC (2007) així com els resultats d'alguns exercicis de modelització a escales regionals com els del projecte europeu PRUDENCE. Amb aquestes, i d'altres fonts d'informació, un grup de físics i geògrafs de la Universitat de Girona ha elaborat un estudi específic sobre la Costa Brava en què també es presenten dades a escala de Catalunya i Espanya. En retrospectiva, i com ja s'afirmava al primer *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*, la tendència de les darreres dècades ha estat la d'un augment de la temperatura mitjana i, a l'espera de més treballs, les dades per al conjunt de l'estat espanyol indiquen que entre 2000 i 2005 la temperatura mitjana fou en promig més alta que l'enregistrada al període 1961-1990 (Brunet, 2007, citat a Ribas *et al.*, 2008).

Les projeccions de temperatures futures per a Catalunya presentades per Ribas *et al.* (*op. cit.*) es basen en càlculs de l'Institut Nacional de Meteorologia (INM), els quals al seu torn es fonamenten en els resultats del projecte PRUDENCE. Aquesta regionalització dona uns increments relativament moderats de la temperatura mitjana fins 2040 (de l'ordre d'1 °C o 1,5 °C) i increments molt més elevats (de l'ordre de 4,5 °C o més segons els escenaris) a partir d'aquesta data. També es comenta que l'augment de la temperatura serà més important a les zones d'interior i de muntanya que a les àrees costaneres.

En conjunt, aquestes dades poden accentuar encara més els impactes apuntats a l'informe de 2005 (Saurí i Llurdés, 2005, quadre de la pàgina 474). A continuació, i com a l'informe anterior, ens centrarem més específicament en els impactes en les tres modalitats de turisme seleccionades: sol i platja, hivern i altres.

19.4.1. Impactes sobre el turisme de sol i platja

Com ja es destacava en l'anterior informe, una afectació directa del canvi climàtic en el segment turístic de sol i platja es produiria en el grau de confort dels turistes a les destinacions de referència durant els mesos d'estiu. Els mapes 6 i 7, extrets del projecte Peseta, representen un Índex de Confortabilitat Turística per a Europa comparant els períodes 1961-1990 i 2071-2100. En principi, aquesta comparació permetria deduir que la probabilitat d'un moviment cap al nord durant els estius de les properes dècades és força elevada, si més no per la disminució del confort estival en les destinacions tradicionals mediterrànies (tot i que aquest confort pot augmentar a la primavera i l'estiu). També caldria tenir en compte, però, altres factors que podrien atenuar aquesta tendència, com ara la major tolerabilitat respecte a condicions climàtiques diferents de les habituals, el tipus d'informació que es dona en origen als turistes, o la possibilitat de microclimes en certes destinacions que difereixin de les tendències generals. En qualsevol cas, i encara que l'escala dels mapes no permet afirmacions massa taxatives, es comprova com en el període 2071-2100 (mapa 7) el grau de confort de Catalunya és superior al de moltes altres destinacions competidores, fet que confirma el que ja s'afirmava en 2003 sobre la major vulnerabilitat climàtica de destinacions, ara per ara, més competitives que Catalunya, com Marroc, Tunísia, Turquia o fins i tot determinats indrets de la costa adriàtica.

Altrament dit, l'onada de calor que va patir gran part del continent europeu durant l'estiu de 2003 s'ha proposat com un exemple del que seria una situació «normal» als estius europeus de finals del segle XXI. L'augment d'entre 3 i 5 °C de l'estiu de 2003 va provocar a la Mediterrània, entre d'altres, els següents impactes (Perry, 2006):

- El sector turístic més afectat fou el càmping i caravàning a conseqüència de la proliferació d'incendis forestals i la manca d'aire condicionat a les instal·lacions.
- Canvis sobtats i de darrera hora en la tria de les destinacions, amb preferència per aquelles

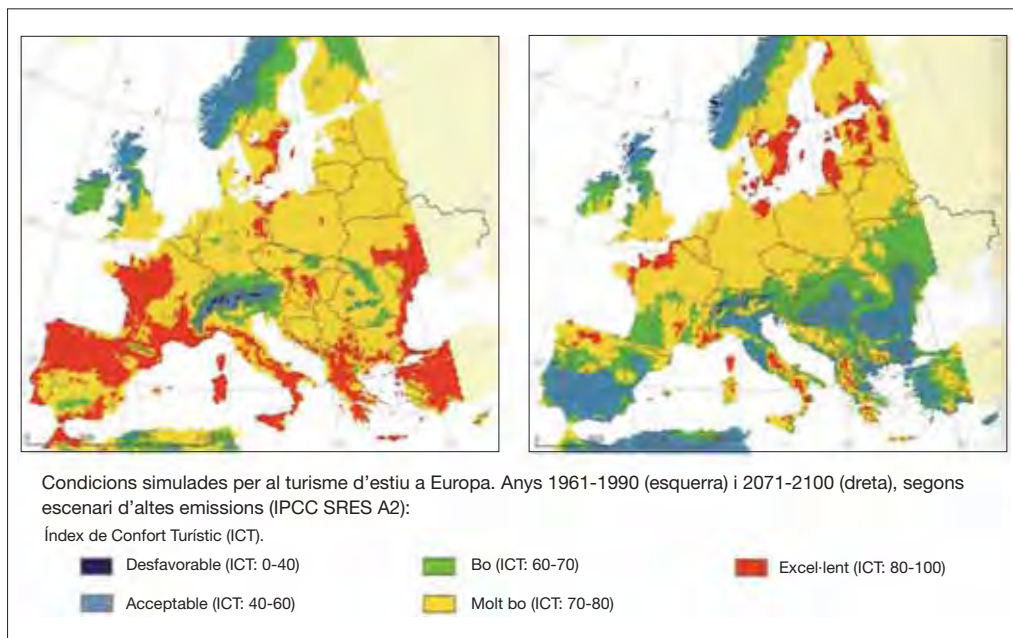
més confortables, que van experimentar importants problemes de saturació. Per exemple, la Bretanya francesa, amb un clima més fresc, acollí, de sobte, un nombre molt elevat de turistes que havien previst anar a altres llocs. Com que la decisió d'on anar de vacances es pren sovint depenent de l'experiència de l'any anterior, en 2004 moltes destinacions mediterrànies van ser ignorades pels turistes del nord d'Europa, bo i esperant unes condicions semblants a les de 2003. Així, per exemple, com l'estiu de 2004 va ser fresc i humit a bona part d'Europa, a Alemanya es va produir un increment important de darrera hora en la demanda de destinacions mediterrànies.

- Turistes britànics i d'altres nacionalitats del nord d'Europa que es desplaçaren a destinacions mediterrànies van rebre molt poca informació sobre com evitar la deshidratació provocada per les altes temperatures, sobretot en condicions d'excessos d'ingesta d'alcohol, amb conseqüències perilloses per a la salut.

Deixant de banda l'increment de la temperatura, l'informe de 2003 també esmentava altres

impactes importants per al turisme de sol i platja com l'escassetat hídrica, l'increment de fenòmens extrems (especialment temporals de mar), una major proliferació de malalties infeccioses, la inundació d'espais litorals per l'augment del nivell del mar i, en general, hàbitats més empobrits i una minva de la diversitat. Els estudis més recents, com els presentats a la conferència de Cagliari el juny de 2009, insisteixen a considerar aquests impactes com a molt probables per a l'àrea mediterrània durant les properes dècades. Ara bé, continua havent-hi una manca preocupant d'estudis científics que, per al cas català, abordin explícitament l'impacte del canvi climàtic en el turisme. En aquest sentit, un dels escassos treballs que hi incideix i que és certament innovador a escala subregional catalana, ha estat elaborat per un grup d'experts de l'Institut de Medi Ambient de la Universitat de Girona (Ribas *et al.*, 2008), centrat en l'àmbit de la Costa Brava.

El treball està dividit en dues parts ben diferenciades. La primera tracta de qüestions exclusivament climàtiques mentre que la segona detalla els possibles impactes en un conjunt de sectors socioeconòmics, turisme inclòs. Els



Mapes 6 i 7. Condicions de confort per al turisme d'estiu a Europa (1961-1990 i 2071-2100)
Font: European Environment Agency (2008).

autors constaten, en primer lloc, un inequívoc augment de la temperatura a Catalunya des de 1980, amb puntes a la primavera i l'estiu. En indrets com l'Estartit, la temperatura mitjana ha augmentat més de 2 °C entre 1970 i 2005. Quant a les precipitacions, els autors no destaquen canvis apreciables i, si més no, s'aprecia una lleugera reducció a la tardor que es veuria compensada per un augment a l'hivern. D'altra banda, la pujada del nivell del mar també és objecte d'anàlisi (p. ex., entre 1990 i 2005 s'estima que ha estat d'uns 4 cm a l'Estartit).

Les projeccions futures de temperatura, precipitacions i augment del nivell del mar confirmen, per a la Costa Brava, els resultats dels models desenvolupats a escala mediterrània. En concret: increment relativament moderat de la temperatura mitjana fins 2040 (1 °C) i molt més ràpid després fins l'any 2100 (d'uns 4 °C), amb puntes a l'estiu i un increment dels extrems climàtics; una reducció generalitzada de les precipitacions, sobretot estivals, amb proliferació d'episodis torrencials; i una pujada moderada del nivell del mar fins l'any 2100 (d'un màxim d'entre 30 i 40 cm).

La segona part de l'informe analitza explícitament el turisme. Amb relació als impactes potencials, la qüestió del confort és cabdal. Com ja s'ha comentat en els mapes de l'informe Peseta, així com també en algunes comunicacions de la conferència de Cagliari de 2009, el confort de la costa catalana podria disminuir a l'estiu, la qual cosa incidiria negativament en el grau d'afluència turística; alhora, però, el confort podria augmentar a la primavera i tardor, fet que hi incidiria favorablement. Altrament dit, les condicions extremes com les de l'estiu de 2003 (i que es podrien multiplicar en les properes dècades) no van provocar uns efectes massa importants en el turisme de sol i platja, en bona part per l'existència d'adaptacions prèvies (menció especial de l'aire condicionat) que potser no són tan comunes a altres contrades europees.

En qualsevol cas, aquests darrers cinc anys no han aportat gaire informació nova al que es deia en l'informe anterior, llevat d'una major confirmació de les previsions que s'hi feien amb relació, especialment, a l'estacionalitat i també a les presumibles pitjors condicions de les destina-

cions turístiques competidores amb Catalunya. També és molt probable que el turisme de sol i platja català de mitjans i finals del segle XXI tingui poc a veure amb la situació actual. La crisi de 2008-2009 ha posat de manifest la vulnerabilitat del model actual i la necessitat de reconversió cap a unes opcions més diversificades i, sobretot, més sostenibles. Un darrer element clau són les pautes socioculturals i la distribució dels períodes de vacances durant l'any. Per al conjunt de la Mediterrània, una concentració dels períodes de vacances a l'estiu seria, sens dubte, un escenari negatiu per a la costa catalana davant l'augment de les temperatures i la disminució de la sensació de confort. La fragmentació de les vacances anuals, en canvi, deixaria oberta la porta a una major capacitat de resposta i, possiblement, minimitzaria els impactes derivats de l'increment de les temperatures.

19.4.2. Impactes del canvi climàtic en el turisme d'hivern català: evidències recents

L'any 2009 a Catalunya hi havia 10 estacions d'esquí alpí i 6 estacions d'esquí de fons, i, en total, les pistes per practicar esquí sumaven poc més de 400 km, amb cotes que oscil·len entre els 1.500 m de Baqueira, Espot i Bosc Virós i els 2.750 m de Boí-Taüll (taules 10 i 11). Malgrat això, en els darrers anys hi ha hagut projectes força controvertits, com l'ampliació de Baqueira Beret cap al port de la Bonaigua, o la creació d'una nova estació, avui dia paralitzada, a la Vall Fosca.

L'informe anterior ja es feia ressò que el nombre d'esquiadors havia experimentat un augment notable a les darreres dècades, sobretot a partir de l'any 1990, que sembla haver marcat un punt d'inflexió cap amunt en arribar-se als 2 milions de practicants d'aquest esport. A partir d'aquest any, la corba d'evolució manté aquesta tendència a l'alça, malgrat que amb importants alts i baixos en aquesta mateixa dècada, fins a la temporada 2005-2006 en què s'assolí una xifra superior als 2,4 milions de forfaits/any venuts. Després d'una pèssima campanya de 2006-2007 (1,6 milions de forfaits), a les dues darreres s'ha aconseguit superar aquesta davallada atès que a la temporada 2007-2008 es va arribar als gairebé 1,9 milions mentre que en aquesta darrera temporada s'han

Nom estació	Any creació	Cotes mín. i màx. (m)	Km àrea esquiable	Total pistes	Canons neu	Km pistes innivades	Viatgers hora
Baqueira Beret ¹	1964	1.500-2.510	108	69	549	39	56.403
Boí-Taüll	1990	2.020-2.750	45,3	52	205	20,2	19.690
Espot Esquí	1967	1.500-2.500	23,5	22	104	10,6	9.140
La Molina ¹	1943	1.700-2.445	60	52	440	27	25.500
Masella ²	1967	1.600-2.535	68	57+19	418	33	12.160
Port-Ainé ¹	1986	1.650-2.440	32,5	22	90	12	11.850
Port del Comte	1973	1.700-2.400	40,7	36	240	20	15.460
Tavascan ¹	1991	1.750-2.250	5	5	0	nd	1.200
Vall de Núria	1947	1.964-2.252	7,6	11	85	6,6	4.560
Vallter 2000	1975	1.959-2.535	19,9	14	77	9	7.200
Total	–	–	410,5	359	2.208	177,4	163.163

Taula 10. Catalunya. Estacions d'esquí alpi (2009)

1. Estacions d'esquí alpi que tenen també circuit nòrdic.

2. Al nombre de pistes «convencional» (57) cal sumar-li 19 variants.

Font: Associació Catalana d'Estacions d'Esquí i de Muntanya (<http://www.catneu.net/index2.html>) i Generalitat de Catalunya (http://www.gencat.cat/turistex_nou/publicacions/neu/turneucat/papelaweb.htm) Data de consulta: 11 de juny de 2009.

Nom estació	Any Creació	Cotes mín. i màx. (m)	Total pistes	Recorregut llarg (km)	Circuit skating (km)	Altres (km)
Aransa	1986	1.850-2.150	32	15	10	10 ¹
Bosc Virós	2001	1.500-2.200	28	12	–	12 ²
Guils Fontanera	1993	1.905-2.080	45	15	8	10 ³
Lles	1970	1.900-2.235	36	14 + 14	22,3	–
St. Joan de l'Erm	1970	1.690-2.080	38	15	18	–
Tuixent-Lavansa	1978	1.830-2.150	32,3	13	3,5	–
Total	–	–	211,3	98	61,8	32

Taula 11. Catalunya. Estacions d'esquí de fons (2009)

1. Passeig

2. Trineus de gossos

3. Raquetes

Font: Associació Catalana d'Estacions d'Esquí i de Muntanya (<http://www.catneu.net/index2.html>) i Generalitat de Catalunya (http://www.gencat.cat/turistex_nou/publicacions/neu/turneucat/papelaweb.htm) Data de consulta: 11 de juny de 2009.

superat els 2,2 milions, i fins i tot algunes estacions (Boí Taüll Resort i Masella) s'han mantingut obertes durant mig any (figura 4).

Aquesta evolució un tant erràtica és, fins a un cert punt, lògica, atès que per la seva situació latitudinal, l'esquí a Catalunya es mostra més susceptible a les condicions climatològiques que a altres zones europees. Malgrat que algunes estacions catalanes tenen unes cotes de neu mínimes al voltant dels 1.500-1.600 m, les previsions sobre les conseqüències del canvi climàtic a les àrees de muntanya apunten a una manca de viabilitat futura per sota dels 1.900-2.000 m. Si es

confirmen alguns pronòstics i les estacions situades per sota dels 2.000 m registren en pocs anys un augment de temperatura d'1,8 °C, poden perdre's uns quaranta dies d'esquí a l'any, i la temporada pot veure's reduïda a tan sols els mesos de gener i febrer, de manera que les estacions perdrien les campanyes de Nadal i Setmana Santa. Tot plegat comportaria una greu reducció de l'activitat hivernal entre els anys 2020-2050 (Greenpeace, 2009). Per desgràcia, per a l'àmbit de l'alta muntanya catalana no disposem d'estudis semblants al de la Costa Brava abans referit, per la qual cosa els treballs com els de Green-

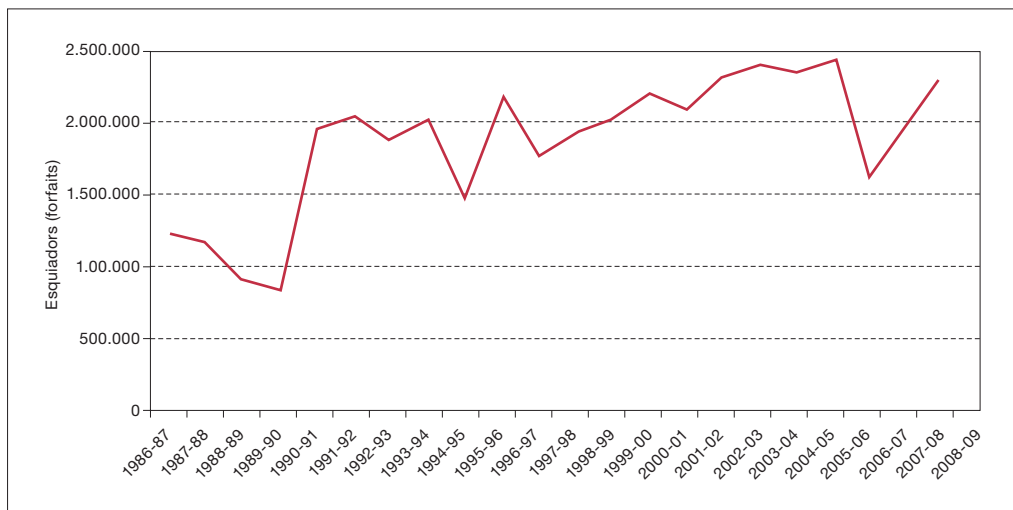


Figura 4. Evolució d'esquiadors a les estacions d'esquí catalanes de 1986 a 2007.

Font: Elaboració pròpia: Dades de l'Associació Catalana d'Estadística d'Esquí i Activitats de Muntanya (ACEM) (2009).

peace (2009) s'han de prendre només com a constatacions molt generals. Tanmateix, i com veurem en l'apartat d'adaptacions al canvi climàtic, el sector de l'esquí sembla més conscienciat que el sector de sol i platja amb relació als reptes climàtics del futur.

19.4.3. Impactes en el turisme alternatiu

En principi, els elements més importants d'aquests impactes que es comentaven a l'informe de 2003 continuen sent rellevants l'any 2009. Segons l'estudi de Ribas *et al.* (2008), en principi, l'augment del nivell del mar no seria especialment important a la Costa Brava, per la qual cosa els efectes sobre els ecosistemes litorals com ara els Aiguamolls de l'Empordà esdevindrien relativament lleus. El cas del Delta de l'Ebre és diferent, però, ja que la seva regressió es deu a un complex joc de factors, i no es pot atribuir a una simple pujada del nivell del mar derivada del canvi climàtic. El deteriorament dels ecosistemes naturals i del paisatge que pot provocar l'augment de les temperatures i la major freqüència de fenòmens extrems continuaran representant una amenaça per a les noves modalitats turístiques com el turisme rural i el turisme d'aventura.

En qualsevol cas, també es reconeix que el foment institucional i l'acceptació popular cada

cop més grans de les formes de turisme englobades sota el paraigua de la «sostenibilitat» i «ecologisme» poden minvar el grau d'impacte ambiental pel component educatiu i cívic que es pressuposa que poden mostrar bona part dels seus practicants.

19.4.4. Estratègies davant el canvi climàtic

En aquest apartat presentarem les principals estratègies seguides per afrontar els reptes que planteja el canvi climàtic sobre el sector turístic català. Idealment, convindria haver diferenciat entre estratègies adaptatives i estratègies de mitigació. Tanmateix i per motius d'espai i d'informació disponible, s'ha estimat més oportú parlar d'estratègies en general.

Dubois i Ceron (2006) assenyalen que la indústria turística pot optar per tres grans estratègies davant el canvi climàtic:

- «Esperar i veure». En altres paraules, seguir amb les pràctiques habituals fins disposar de més informació i coneixements. El criteri econòmic prima sobre qualsevol altre i les accions a curt termini prevalen per sobre de les que requereixen un horitzó temporal més llarg, atès que les primeres resulten més eficients que la precaució de les segones. Només en la mesura que la recerca i el treball aplicat gene-

rin informació cada cop més acurada serà possible invertir aquesta tendència, que és ara la dominant en l'àmbit turístic català, llevat de la possible excepció del turisme d'hivern.

- «La tecnologia ens resoldrà el problema». En altres paraules, es tracta de seguir amb la filosofia del *business as usual* però alhora introduint algun corrector tecnològic que ens permeti seguir amb les mateixes pràctiques i simultàniament ens minimitzi els impactes més negatius. Un exemple molt clar d'això seria la implantació de neu artificial a les pistes d'esquí o dels aires condicionats als enclavaments turístics del litoral a l'estiu. Ara bé, rarament es consideren els costos d'aquestes opcions tecnològiques i alguns autors o institucions (p. ex., l'Agència Europea del Medi Ambient) les consideren, més aviat, adaptacions «dolentes».
- «Precaució i flexibilitat». Finalment, existeix també l'opció de la prudència, la qual cosa vol dir fonamentalment augmentar la capacitat adaptativa a noves realitats climàtiques. La possibilitat de diversificar l'oferta turística representa, sens dubte, una de les millors aplicacions d'aquest principi, i també és important el desenvolupament d'opcions que no siguin irreversibles. Per contra, hi ha el problema dels costos i també el de deixar escapar les oportunitats que ofereix una única activitat (la pràctica de l'esquí en exclusiva en detriment d'altres formes d'oci i lleure a les àrees de muntanya), així com també el fet que potser no tot el sector podrà optar a aquesta diversificació d'activitats.

19.4.5. Estratègies al turisme de sol i platja

Tal com es comentava en l'informe de 2003, les mesures adaptatives per aquesta modalitat turística probablement es centraran més aviat, en alguns dels impactes secundaris i no tant en el mateix augment de les temperatures. Caldrà veure l'evolució dels índexs de confort durant les properes dècades però vist l'escàs impacte de l'onada de calor de 2003 (en gran part, i com s'ha dit abans, gràcies a la proliferació dels aires condicionats als establiments hotelers) semblaria que el sector no ha de patir excessivament, almenys en comparació d'altres països competidors. A més, el declivi a l'estiu es pot veure compensat

per un augment de l'afluència a la primavera i tardor, bo i més si es confirma la tendència a la fragmentació de les vacances, comuna a molts dels principals mercats emissor de turistes.

La dessalació ha esdevingut la gran alternativa a l'espectre de l'escassetat hídrica a les àrees mediterrànies. A Catalunya, les grans àrees turístiques probablement es trobaran connectades a les tres dessalinitzadores en funcionament o en projecte (Blanes, Barcelona i Cunit), per la qual cosa, l'abastiment estarà segurament garantit. A més, és també força probable que noves mesures d'estalvi i eficiència, juntament amb nous recursos alternatius (aigües pluvials i aigües regenerades) contribueixin a la reducció de l'estrès hídric. Pel que fa a la protecció del litoral davant la previsible pujada del nivell del mar i la proliferació dels temporals, l'adaptació implica combinar mesures de protecció en forma de grans obres hidràuliques (p. ex., el projecte que hi ha per al Delta de l'Ebre), amb accions (més aconsellables) de protecció del medi costaner, i limitació del desenvolupament en aquests espais.

19.4.6. Estratègies al turisme d'hivern

Com ja s'ha dit a bastament, aquesta modalitat turística és la que en principi presenta una major vulnerabilitat al canvi climàtic. Per tant, es també la modalitat turística amb un major dinamisme d'adaptació a la variabilitat climàtica. En aquest context, les estratègies de futur més comunes que s'estudien a Catalunya són les següents: l'ampliació de la capacitat de la innivació artificial, l'ampliació dels dominis esquiables i la desestacionalització de l'activitat turística, a partir de la transformació de l'estació d'esquí en una «estació de muntanya».

La innivació artificial

La instal·lació de canons de neu artificial ha estat la principal estratègia per poder assegurar l'activitat a les estacions un mínim de temps. Mentre a l'any 2002 hi havia 1.639 canons de neu, en 2009 la xifra supera els 2.200. El seu gran desenvolupament inicial va tenir lloc a la dècada de 1990 (el nombre de canons es va triplicar entre 1994 i 2002), però aquesta mateixa tendència a l'alça s'ha mantingut atès que en aquests darrers set anys han augmentat en més d'un 34%

(taula 12); malgrat que si s'analitza cas per cas, els increments percentuals més alts corresponen a Port del Comte (203%), Vall de Núria (80%), Masella (44%) o Boí-Taüll i La Molina (35% cadascun). En canvi, l'estació de Baqueira Beret només els ha incrementat un 9%, segurament perquè amb 549 canons deu estar arribant al seu màxim (de fet, en 2009 hi trobem el 24,8% del total a Catalunya, quan en 2002 el seu pes era del 30,4%).

Aquesta estratègia d'instal·lació de canons de neu ha permès augmentar d'un 33,2% (2002) a un 43,2% (2009) el total de quilòmetres de pistes innivades artificialment, i les 10 estacions registren uns increments al voltant d'aquesta mitjana (tret del cas de la Vall de Núria —un 86,8%—, malgrat que en termes absoluts és la darrera). De fet, si comparem els dos anys analitzats, 8 de les 10 estacions d'esquí alpi augmenten el seu percentatge de quilòmetres de pistes innivades, i per al conjunt, aquest valor puja d'un 37% a gairebé un 49%.

Cal tenir present que el nombre de quilòmetres innivats artificialment és determinant en la configuració del producte d'esquí ofert per cada estació, sobretot en aquelles contrades amb nevades irregulars. Malgrat la millora evident dels darrers anys, a mitjà termini cal garantir un mínim de pistes amb neu durant tota la temporada, que es calcula en 40-50 km en les estacions grans (de setmana), 30-40 km a les mitja-

nes, i un mínim de 10-15 km per a les petites (Secretaria per a la Planificació Territorial, 2006). Altrament dit, es pot dir que la sistematització de la producció de neu artificial ha estat la solució tècnica per excel·lència de les estacions d'esquí per fer front a un problema de caire climàtic, davant la inseguretat de poder disposar de neu natural que garanteixi, per si mateixa, el funcionament del negoci. I malgrat l'esforç inversor que comporta la innivació artificial, les limitacions de tipus ambiental que presenten aquests sistemes poden dificultar, sens dubte, la seva supervivència.

Si bé inicialment l'ús de la neu artificial tenia per objectiu la consolidació de les zones menys nevades per la seva situació en cotes baixes o en vessants solejats, i fins i tot era vista com quelcom negatiu (reconeixement d'unes condicions meteorològiques inadequades per a l'esquí), amb el temps la innivació artificial ha esdevingut una pràctica habitual i generalitzada per pal·liar la possible manca de neu a tot el domini esquiable. Això vol dir que els sistemes d'innivació artificial també han passat a estar localitzats a les cotes més elevades i en vessants nord (Clarymont, 2008). De fet, el cas català segueix la mateixa tendència que també es dona a la resta dels Pirineus (francès, andorrà i aragonès). Per posar un cas, el govern d'Aragó, dins el seu Pla estratègic de la neu (2003-2008) va crear la societat «Aramón-Montañas de Aragón», participada al 50% pel mateix govern

Estació	Total pistes		Canons neu		Km àrea esquiable		Km pistes innivades		% km pistes innivades	
	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009	2002	2009
Baqueira Beret	54	69	504	549	88	108	35	39	39,7	36,1
Boí-Taüll	40	52	151	205	42	45,3	12,2	20,2	29	44,6
Espot Esquí	31	22	86	104	28,5	23,5	6,5	10,6	22,8	45,1
La Molina	40	52	326	440	50	60	20	27	40	45
Masella	42	57+19	290	418	59	68	21	33	35,6	48,5
Port-Ainé	32	22	88	90	43,5	32,5	12	12	27,6	36,9
Port del Comte	38	36	79	240	42,8	40,7	8	20	18,7	49,1
Tavascan	5	5	0	0	5	5	nd	nd	0	0
Vall de Núria	10	11	47	85	7	7,6	4,4	6,6	52,8	86,8
Vallter 2000	12	14	68	77	15	19,9	10	9	66,6	45,2
Total/mitjana	304	359	1.639	2.208	380,8	410,5	129,1	177,4	33,28	43,73

Taula 12. Comparació entre estacions d'esquí alpi catalanes (2002-2009).

Font: Elaboració pròpia a partir de les taules 10 i 11.

autonòmic i Ibercaja, la qual, a més de tenir el 20% de la superfície esquiable de tot el país, està portant a terme un procés de modernització de les seves estacions i, simultàniament, l'ampliació dels dominis esquiabls (p. ex., l'estació de Formigal ha condicionat 70 nous quilòmetres amb la innivació artificial) (Soriano, 2005).

Així doncs, els sistemes de innivació artificial permeten assegurar la possibilitat de la pràctica de l'esquí, fins i tot en hiverns de poca precipitació, i d'allargar la temporada, la qual cosa també contribueix a la consolidació del volum de vendes. Tot plegat, un gran avantatge per a les estacions d'esquí en un mercat i context molt competitiu. Com s'afirma en la comunicació de Clarymont, avui dia a l'hora de plantejar-se una estada en una estació, la gent no demana tant per les condicions meteorològiques sinó més aviat si disposa de canons de neu artificial.

En aquest sentit, i reconeixent la importància de les estacions d'esquí en la creació de riquesa a les comarques de muntanya, s'ha de destacar la posada en marxa de l'anomenat «Pla director de les estacions de muntanya» (període 2006-2011), entre el govern de la Generalitat i l'Associació Catalana d'Estacions de Muntanya (ACEM). En aquest pla, i pel que fa a les instal·lacions i els equipaments de les estacions, es posa èmfasi a les actuacions encaminades a la millora dels accessos i aparcaments, remuntadors a les pistes i, especialment, la infraestructura necessària per augmentar la capacitat de la innivació artificial.

L'ampliació dels dominis esquiabls

Una altra de les mesures estudiades és l'ampliació dels actuals dominis esquiabls cap a cotes de més altitud on es pugui tenir una major garantia de neu en un futur. Així i tot, segurament aquesta mesura no sigui la més viable si es tenen en compte les limitacions orogràfiques del relleu pirinenc català, que fa que no hi hagin gaires més zones òptimes per a la pràctica de l'esquí de les que hi ha actualment. Al respecte, l'esmentat Pla director ja es fa ressò d'aquesta iniciativa i defineix els límits de les àrees susceptibles de ser consolidades o d'esdevenir dominis esquiabls. La idea de partida és que aquesta definició ha de servir per garantir que les estacions tinguin les

dimensions més adients per fer-ne una gestió viable.

Entre altres accions, això podria implicar bàsicament tres: en primer lloc, la unió d'alguns dominis (p. ex., es planteja el cas de Boí-Taüll i la projectada estació de Vall Fosca, ara en suspens); en segon lloc, la necessitat de millorar el rendiment dels dominis ja existents abans que ampliar-los; i, finalment, haver de descartar inversions en aquells dominis que estiguin per sota dels 1.600-1.800 m tret de casos concrets i amb orientacions adequades. Així, el Pla estableix que unes determinades estacions ja no podrien ampliar el seu domini (Guils-Fontanera, Tavascan, Bosc Virós, Vall de Núria i Port del Comte), alhora que es podria considerar la unificació i ampliació de les estacions de Lles i Aransa.

En el rerefons d'aquesta mesura també hi ha la idea que el paisatge constitueix un dels elements més significatius per a la pràctica del turisme en entorns de muntanya; per la qual cosa, el desenvolupament d'un determinat model d'esquí es veu, ara, com incompatible amb la pretesa qualitat paisatgística. Es refereix això, i a grans trets, a un model d'estacions depenent, gairebé exclusivament, de l'activitat residencial. No s'ha d'oblidar que el sector ha passat darrerament per certes dificultats degudes no només al factor estacional de l'activitat o a la fragmentació empresarial, sinó sobretot a la seva estreta relació amb el sector immobiliari. Podria dir-se que, en certs casos, el desenvolupament de les estacions d'esquí ha estat el pretext per dur a terme actuacions immobiliàries dirigides al mercat de la segona residència. I això ha fet que bona part de les estacions fossin molt vulnerables a les variacions del cicle del mercat immobiliari. És el cas d'altres esports com el golf: quan les empreses que gestionen les pistes ja no es poden beneficiar d'ampliacions urbanístiques, aleshores deixen de ser rendibles.

En altres paraules, una vegada s'han comercialitzat les promocions residencials, els promotors perden l'interès en les estacions, les quals descapitalitzades i endeutades (inversions en canons de neu, remuntadors, etc.) entren en fallida. El model funciona mentre es construeix, i quan el negoci immobiliari arriba al final només queden dues opcions: tancar l'estació o que

aquesta passi a ser gestionada per l'Administració (Campillo i Font, 2004). D'aquesta manera, les estacions catalanes que no van néixer acompanyades d'un potent sector immobiliari, o bé han tancat (Llessú) o han tingut temporades difícils (Port del Comte). De fet, i llevat d'un parell de casos (Baqueira i Boí-Taüll), segurament la resta d'estacions són deficitàries i sobreviuen mercès a les subvencions públiques (la Generalitat en controla quatre: Portainé, Espot, La Molina i Vall de Núria).

La reconversió de les estacions d'esquí en estacions de muntanya

Aquesta constitueix la tercera estratègia de futur i la que s'ajusta més clarament a la desestacionalització de l'activitat turística. Ja no només és una qüestió de diversificar i ampliar el ventall d'activitats esportives i lúdiques susceptibles de poder fer-se amb la neu (a més de l'esquí, activitats com el surf de neu (*snowboard*), surf fora pisata (*freeride*), raquetes, construcció d'iglús, etc.), sinó que també se'n possibilitin d'altres de diferents i que fonamentin el seu interès en el paisatge, natura, esport, cultura, etc. (excursionisme, rutes a cavall, BTT, etc). En altres paraules, una aposta per activitats no estrictament hivernals.

Malgrat que la dinàmica futura més que previsible apuntaria a la necessitat que totes les estacions tendissin cap a aquesta estratègia, no sembla, però, que avui dia hagi estat la més reeixida. Si hom observa la informació disponible als diferents webs de les estacions d'esquí, són poques les que clarament han ampliat la seva oferta amb la inclusió d'activitats que facin pensar en aquesta reconversió. Malgrat això, algunes ja fan publicitat al seu web d'activitats amb l'epígraf específic «d'estiu», diferenciades de les d'hivern (p. ex., La Molina, Baqueira Beret, Vall de Núria o Vallter 2000). Altres estacions també ho fan però, després, la informació o bé no s'inclou, o bé aquesta es limita tan sols a proporcionar dades d'allotjaments (p. ex., el cas de Port Ainé).

La taula 13, elaborada amb la informació dels webs de les 16 estacions catalanes, és un recull de les activitats que no responen a un perfil típicament hivernal; per tant, no inclou aquelles que, a més de l'esquí, només es poden practicar

amb neu i que són presents ja a bona part de les estacions. Val a dir, però, que de vegades és difícil discernir entre les activitats que es fan al mateix recinte i a les rodalies de l'estació de muntanya, d'aquelles altres que es duen a terme a la resta del territori comarcal i que també són promocionades des de l'estació.

Malgrat que amb alguna altra imprecisió deguda a una manca d'especificació de la informació, la taula 13 ens mostra com l'activitat no hivernal que han posat més en pràctica les estacions de muntanya catalanes ha estat el senderisme (nom genèric que englobaria altres com l'excursionisme, rutes guiades pel bosc, etc.), de ben segur per ser la més fàcil d'organitzar atès que no necessitaria cap (o gairebé) infraestructura o equipament específic. En un segon lloc, tenim totes les activitats relacionades amb la cultura i folklore, malgrat que es desenvolupen, en bona part dels casos, als llocs de més interès de les contrades i no, òbviament, a les mateixes estacions (parlem del romànic de la Vall de Boí, museus i santuaris, revetlles de Sant Joan, etc.). En un tercer grup apareixerien les rutes, passejades a cavall i ponis, així com també l'opció de la BTT, bé sigui aprofitant les pistes o altres recorreguts fora d'aquestes (*bike park*, *cross-country*, etc.). En aquest sentit, caldria destacar també la popularització d'un equipament del tot lúdic com són els tobogans de muntanya (els anomenats *tubbys*), en un context en què els espais tradicionals d'oci també cal que siguin «reinventats» per no perdre interès.

Si ens fixem per estacions, destaca per sobre de la resta La Molina, amb un total de 13 activitats sobre 18 de les llistades, així com també la Vall de Núria i Vallter 2000 amb 8 i 7, respectivament. En l'altre extrem, trobem Espot Esquí, Por Ainé i Aransa sense cap activitat (o si més no, cap promocionada als webs) i la Masella, Tavascan i Tuixent-Lavansa amb només una (de caire cultural i senderisme).

Malgrat aquesta certa irregularitat entre estacions en aquest procés de transformació des de l'esquí a estacions que donin cabuda a activitats desestacionalitzadores, no deixa de ser aquesta una de les mesures més destacades considerades en el Pla director de les estacions de muntanya, ja esmentat anteriorment.

Estació	Activitats																		Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Baqueira Beret																			2
Boí-Taüll																			4
Espot Esquí																			0
La Molina																			13
Masella																			1
Port-Ainé																			0
Port del Comte																			6
Tavascan																			1
Vall de Núria																			8
Vallter 2000																			7
Aransa																			0
Bosc Virós																			6
Guils Fontanera																			2
Lles																			2
St. Joan de l'Erm																			3
Tuixent-Lavansa																			1
Total activitats	5	3	2	10	2	4	1	2	5	2	2	6	3	3	1	2	1	2	56

Taula 13. Activitats no hivernals ofertes a les estacions d'esquí de Catalunya el 2009.

Font: Elaboració pròpia a partir de la informació disponible als webs de les estacions d'esquí.

1. Rutes a cavall o amb ponis / 2. Barques / 3. Tir amb arc / 4. Senderisme i excursionisme / 5. Segway / 6. Tubbys / 7. Spa / 8. Esports tradicionals / 9. BTT / 10. Esports aquàtics / 11. Esports aeris i de muntanya / 12. Cultura / 13. Telecadira / 14. Circuit d'aventures o parc lúdic / 15. Oci nocturn / 16. Orientació / 17. Marxa nòrdica / 18. Quads.

19.4.7. Estratègies al turisme alternatiu

La conservació del patrimoni natural i cultural davant el deteriorament provocat per un increment de les temperatures i dels fenòmens extrems (p. ex., els incendis forestals) representa segurament la millor estratègia adaptativa per al sector, tal com també dèiem a l'informe de 2003. Un element de gran importància en aquest cas, i vital per a la conservació dels paisatges, és el control de les espècies invasores que poden arribar i expandir-se a Catalunya amb condicions climàtiques diferents de les actuals. Com que, comparativament, aquesta modalitat (especial esment al turisme rural) serà la que més creixi en un futur a Catalunya, és molt important assegurar les condicions que facilitin el seu desenvolupament. Potser que, més que en qualsevol altre cas dels tractats aquí, existeixi una gran coincidència entre les mesures adaptatives al canvi climàtic i les mesures de promoció i desenvolupament del sector.

Les àrees de muntanya, i sobretot altres com les comarques de la Depressió Central que, a priori, encara tenen un gran potencial de creixement —justament per ser les que registren un grau de massificació més baix—, podrien ser les que fessin un paper exemplificador. Aquest vindria donat per l'aplicació de mesures diverses amb relació a aspectes com la gestió dels espais naturals protegits, un major foment d'activitats com el senderisme i altres semblants, on el component del paisatge és una de les claus de l'èxit, i la potenciació del turisme rural, tant com una estratègia de fixació de la població local com també per potenciar una política que posi en valor el seu ampli patrimoni cultural (sobretot el de les zones menys turístiques i ja no tant l'urbà, doncs en molts casos aquest ja és prou conegut).

19.5. Conclusions

Malgrat la situació actual de crisi, el turisme continua sent la primera activitat econòmica de

Catalunya i continua caracteritzant-se per una gran diversitat de modalitats i una capacitat excel·lent d'adaptació a nous reptes com el canvi climàtic. En comparació del que es deia a l'informe de 2003, potser el període que s'obre amb la crisi econòmica de 2007 ofereix interrogants molt importants sobre el segment turístic de «sol i platja», sens dubte i de llarg, el que té un major impacte en la creació de riquesa i ocupació. La forta competència de noves destinacions (l'Adriàtic, la Mediterrània oriental, Nord d'Àfrica) i unes estructures i equipaments obsolets fan inevitable la seva reconversió, amb activitats més diversificades i, probablement, amb una major atenció a la qualitat ambiental, ja que aquest sembla ser un aspecte cada cop més demanat pels turistes internacionals.

Per la seva banda, el turisme basat en els esports hivernals, i en concret l'esquí, sembla haver arribat a un sostre en la seva expansió. Afectat també per la crisi immobiliària (que ha deixat en suspens diversos projectes com el de la Vall Fosca), el sector intenta adaptar-se a les incerteses climàtiques, principalment amb neu artificial i, en alguns casos, amb la reconversió de les estacions d'esquí en estacions de muntanya. Finalment, tot el conjunt, encara molt minoritari, definit com a turisme alternatiu (rural, d'aventura, «ecològic», etc.) és el que presenta una millor situació en haver quedat relativament al marge de la crisi.

Pel que fa a les relacions entre turisme i canvi climàtic, en aquest segon informe hem de continuar ressaltant el relatiu desinterès en el tema, tant des del mateix sector (amb la possible, i fins a cert punt lògica, excepció de l'esquí) com des de la mateixa comunitat científica. A diferència d'altres països, on almenys hi ha força activitat pel que fa a la recerca, durant els darrers sis anys continuen sent molt escassos els treballs científics que s'ocupen d'aquest àmbit, amb excepcions com el dels investigadors de l'Institut de Medi Ambient de la Universitat de Girona sobre la Costa Brava.

En aquest segon informe, els impactes del canvi climàtic en les diferents modalitats del turisme català segueixen una mica les pautes ja descrites en l'anterior. El turisme de sol i platja continua semblant relativament poc vulnerable

pels majors impactes que tindran les destinacions competidores i per la possibilitat de desestacionalitzar l'oferta. Altrament, hom creu que impactes com l'escassetat de recursos hídrics o l'augment del nivell del mar es poden gestionar amb l'aplicació de noves tecnologies com la desalació o la construcció d'obres de defensa. En tot cas, la disponibilitat d'energia (aires condicionats, dessalació) serà un dels reptes pel futur. Per la seva banda, i com ja s'ha dit, el turisme d'hivern continua sent la modalitat més vulnerable al canvi climàtic i també la que més s'esforça en desenvolupar adaptacions com la fabricació de neu artificial (també problemàtica en termes energètics i ambientals), o la diversificació d'activitats més enllà de la neu. Finalment, les formes alternatives de turisme presenten també una vulnerabilitat relativament alta (en dependre molt del patrimoni natural o cultural) però, alhora, són les que més es poden beneficiar de polítiques territorials i ambientals no estrictament vinculades amb el clima.

Un darrer aspecte que mereix ser comentat fa referència a les necessitats i orientacions de la recerca sobre turisme i canvi climàtic a Catalunya. Abans hem assenyalat com la manca d'estudis és encara, i per desgràcia, força habitual. Això no obstant, existeixen projectes sobre el tema finançats pel Programa nacional de recerca, desenvolupament i innovació espanyol, com per exemple el titulat *Evaluación de la vulnerabilidad del turismo litoral mediterráneo español al clima y al cambio climático* (Universitat de Barcelona). La recerca s'hauria d'estendre al turisme d'hivern (en la línia dels nombrosos treballs que s'han publicat sobre els Alps, les muntanyes Rocalloses o altres àrees esquiables del món) i també al turisme alternatiu, explorant especialment les connexions entre turisme, espais protegits i canvi climàtic.

Així doncs, com argumentàvem en el primer informe, el sector turístic català gaudeix d'una llarga història, es troba molt ben arrelat al país i es caracteritza també per un gran dinamisme. Probablement, en el context actual de crisi serà imprescindible una certa reconversió, i que aquesta s'orienti en una línia de sostenibilitat que permeti també millorar l'adaptació al clima més càlid del futur.

Referències

- AGRAWALA, S. (2007). *Climate change in the European Alps*; París: OECD.
- AMELUNG, B.; NICHOLLS, S.; VINER, D. (2007). «Implications of global climate change for tourist flows and seasonality», *Journal of Travel Research*, 45, p. 285-296.
- BARÓ, E.; VILLAFANA, C. (2006). *L'impacte econòmic del turisme receptor sobre l'economia catalana i sectorialització per branques d'activitat. Síntesi dels principals resultats*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Dpt. de Comerç, Turisme i Consum, Observatori de Turisme. <http://www.gencat.cat/diue/doc/doc_25969172_1.pdf>
- BECKEN I HAY, J.E. (2007). *Tourism and climate change: Risks and opportunities*; Clevedon, UK, Channel View Publications.
- ASSOCIACIÓ CATALANA D'ESTACIONS DE MUNTANYA (ACEM) (2004). *Pla Estratègic del Turisme de Neu a Catalunya*. <http://www10.gencat.cat/ptop/binaris/02socioeconomic_tcm32-37793.pdf>
- CAMPILLO, Xavier; FONT, Xavier (2004). *Avaluació de la sostenibilitat del turisme a l'Alt Pirineu i Aran*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (Documents de recerca, 9).
- CENTRE INTERNACIONAL D'ESTUDIS I RECERCA DEL TURISME (Cinert) (2009). *Informe d'activitat hotelera a Catalunya 2008: situació i previsions 2009*; Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, Escola Universitària de Turisme i Direcció Hotelera. <<http://www.eutdh.cat/index.php?md=document&id=1260&lg=cat>>
- CLARIMONT, Sylvie (2008). «Turismo de invierno y cambio climático: La producción de nieve artificial en los Pirineos, ¿un uso sostenible del agua?». *6º Congreso Ibérico sobre gestión y planificación del agua*, Vitòria, 5 de desembre.
- DIRECCIÓ GENERAL DE TURISME (2002). *Oferta. Allotjaments turístics*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Dpt. de Treball, Indústria, Comerç i Turisme.
- DONAIRE, José A. (2009). «Turistes? Sí, gràcies» <<http://don-aire.blogspot.com/>> (maig 2009).
- DUBOIS, G.; CERON, J.P. (2006). «Tourism and climate change: Proposals for a research agenda», *Journal of Sustainable Tourism*, 14 (4), p. 399-415.
- DURO, Juan A. [dir.] (2008). *Index UAB d'activitat turística*; Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, Escola Universitària de Turisme i Direcció Hotelera. <http://www.eutdh.cat/articles-mostra-1659-cat-ndex_uab_dactivitat_turistica.htm>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2008). *Impacts of Europe's changing climate –2008 indicator– based assessment*; Copenhagen, European Environment Agency.
- GÖSSLING, S. (2009). «Carbon neutral destinations: a conceptual analysis», *Journal of Sustainable tourism*, 17 (1), p. 17-37.
- GÖSSLING, S.; HALL, C.M. (2006). «Uncertainties in predicting tourist flows under scenarios of climate change», *Climatic Change*, 79 (3-4), p. 163-173.
- HALL, C.M.; HIGHAM J. [eds.] (2005). *Tourism, recreation and climate change*; Clevedon (UK): Channel View Publications.
- INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (Idescat). *Informació de síntesi de les estadístiques bàsiques de Catalunya* (capítol 9: Turisme). <<http://www.idescat.cat/cat/economia/ecotur.html>>
- LLURDÉS, Joan C.; ROMAGOSA, F.; PRIESTLEY, G. (2009). *Perfil de sostenibilitat de Catalunya. Anàlisi sectorial – Turisme*; Barcelona: Dpt. de Medi Ambient i Habitatge, Direcció General de Polítiques Ambientals i Sostenibilitat.
- NYAUPANE, G.; CHHETRI, N. (2009): «Vulnerability to climate-change of nature-based tourism in the Nepalese Himalayas», *Tourism Geographies*, 11(1), p. 95-119.
- PEETERS, P. [ed.] (2007). *Tourism and climate change. Mitigation, methods, greenhouse gas reductions and policies*; Stichting, NHTV.
- GREENPEACE (2009). *La crisi del clima. Evidències del canvi climàtic a Espanya*. <<http://www.greenpeace.org/espana/reports/la-crisi-del-clima-catalunya>>
- OBSERVATORI DE TURISME DE CATALUNYA. *Informe Catalunya turística en xifres* (diversos anys). Departament d'Innovació, Universitats i Empresa, Generalitat de Catalunya. <http://www.gencat.cat/diue/ambits/turisme/observatori_turisme/estadistiques/xifres/index.html>
- ORGANITZACIÓ MUNDIAL DEL TURISME (OMT) (2009a): *Informe Tourism Vision 2020*. <<http://unwto.org/facts/eng/vision.htm>>
- (2009b). *Informe Barómetro OMT del turismo mundial*, vol. 7(1). <http://unwto.org/facts/eng/pdf/barometer/UNWTO_Barom09_1_sp_excerpt.pdf>
- (2008). *Informe Panorama del turismo internacional*. <http://www.unwto.org/facts/eng/pdf/highlights/UNWTO_Highlights08_sp_LR.pdf>

- RIBAS, A.; CALBÓ, J.; LLAUSAS, A.; LÓPEZ, Joan A. (2008). *Avaluació dels efectes del canvi climàtic a la Costa Brava*; Girona: Universitat de Girona, Institut de Medi Ambient.
- SECRETARIA PER A LA PLANIFICACIÓ TERRITORIAL (2006). *Pirineus Catalans. Pla Director de les Estacions de Muntanya*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Política Territorial i Obres Públiques. <http://www10.gencat.net/ptop/binaris/00_Memoria_tcm32-34042.pdf>
- SIMPSON, M.C.; GÖSSLING, S.; SCOTT, D. [et al.] (2008). *Climate change adaptation and mitigation in the tourism sector: Frameworks, tools and practices*. París: UNEP, University of Oxford, UNWTO i WMO.
- SORIANO, Ignacio. (2005). «El desarrollo del Pirineo aragonés», *Revista Aragonesa de Administración Pública*, 26, p. 353-373.
- STEIGER, R.; MAYER, M. (2008): «Snowmaking and climate change. Future options for snow production in the Tyrolean sky resorts», *Mountain Research and Development*, 28 (3/4), p. 292-298.
- TERVO, K. (2008): «The operational and regional vulnerability of winter tourism to climate variability and change. The case of the Finnish nature-based tourism entrepreneurs», *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, (4), p. 317-332.
- UNWTO (2007): *Davos Declaration. Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges*. <www.unwto.org>
- WOLFSEGG, C.; GÖSSLING, S.; SCOTT, D. (2008): «Climate change risk appraisal in the Austrian ski industry», *Tourism Review International*, 12(1), p. 13-23.

ANNEX. Enquesta sobre els possibles efectes del canvi climàtic en el sector turístic català

Aquesta enquesta és similar a la que es va trametre en ocasió del Primer Informe i es dirigeix principalment a experts en el sector, tot i que per a futures ocasions recollim el suggeriment de fer-la extensiva també al sector en general. En dues tongades (principis de juny i de setembre de 2009) s'han enviat un total de 65 enquestes i se n'han rebut 39. Encara que l'enquesta feia referència explícita al context del canvi climàtic i el turisme català, l'enviament ha inclòs persones alienes a la realitat catalana, però alhora considerades expertes i de reconegut prestigi tant en el camp del turisme com del canvi climàtic.

Tot seguit, un resum de les principals aportacions a cadascuna de les respostes, encara que en alguns casos, pot haver-hi certes contradiccions.

1. En general, i segons la seva opinió, quines han estat les principals tendències del turisme a Catalunya en els darrers 5 anys? Quines tendències es poden esperar per als propers 5-10 anys?

Pel que fa a l'evolució del turisme català als darrers 5 anys, cal destacar les següents opinions:

- Consolidació del turisme català en el mercat mundial, tot i que encara molt basat en el litoral i la ciutat de Barcelona.
- Creixement i maduresa del segment de sol i platja i, en molts casos, obsolescència de les destinacions i establiments turístics.
- Esforços per diversificar el model convencional de sol i platja i la renovació de les destinacions més saturades, amb la integració de nous recursos com el patrimoni natural, temàtic, cultural, oci actiu, etc.
- Expansió del turisme vers l'interior del territori català (procés de «turistificació»). Apareixen i es consoliden nous espais turístics alternatius com els de muntanya i d'aventura, rurals, de salut, balnearisme, de natura i ecoturisme, etc.
- Consolidació del turisme residencial lligat al creixement del fenomen de la segona residència (relacionat amb l'expansió del sector immobiliari).
- Consolidació del turisme urbà lligat als negocis i congressos. Paper destacat de la ciutat de Barcelona en combinar aquests dos segments de turisme amb el cultural i l'estrictament de vacances i d'oci. Pes creixent dels creuers, i es consolida com un dels ports més importants de la Mediterrània.
- Consolidació del turisme que ens visita amb línies aèries de baix cost.
- Creixement excessiu del turisme al litoral i, per contra, una major sensibilitat pels temes ambientals locals i a curt termini.
- Reorientació de les estacions d'esquí cap a centres multifuncionals.
- Consolidació del turisme com a activitat del tot integrada en el comportament de la societat.
- Fraccionament de les estades i reducció de les estades mitjanes. Menor despesa dels turistes.
- Incorporació de la cultura en les motivacions principals de viatge.

Pel que fa a les tendències esperades per als propers anys, les respostes apunten els següents aspectes com a més destacats:

- Tendència condicionada clarament pels efectes regionals de la crisi econòmica global, especialment en els mercats d'origen de la demanda a Catalunya.
- Contenció o estancament del creixement assolit fins al moment, multiplicació del turisme de proximitat i reducció de l'afluència en certs segments molt sensibles a l'activitat econòmica general (p. ex., congressos i negocis).
- Un escenari de canvi en el paradigma energètic, en l'estabilitat dels països productors o en les pautes de mobilitat, que inicialment no és previsible a curt termini, també pot ocasionar transformacions en la tendència que actualment no són previsibles.
- En la mesura que es redreci la situació econòmica, risc que es produeixi de nou una altra onada immobiliària lligada al turisme residencial.
- Tendència cap a una més clara vocació d'un control més estricte de les actuacions urbanístiques. La crisi econòmica pot ser una bona solució per a determinades qüestions ambientals.
- Increment de la competència en segments turístics consolidats i madurs.
- Encara marge de creixement per al turisme de baix cost.
- Tendència cap a una major sensibilització ambiental del sector, tant des del punt de vista de l'oferta com de la demanda. Es parla cada vegada més d'un turisme «experiencial», amb més protagonisme de valors com la cultura i sostenibilitat.

- Necessitat de continuar posant èmfasi en la qualitat, innovació i diferenciació del producte.
- El procés de «turistificació» no té deturador.

2. Creu que el sector turístic català considera el canvi climàtic com una qüestió rellevant? Creu que aquesta visió per part del sector ha variat en els darrers 5 anys?

La resposta majoritària ha estat **NO** a ambdues preguntes, i només quatre persones han respost que **SÍ**, tot i que amb matisos. Les justificacions més comunes per a la resposta negativa han estat que el canvi climàtic és vist pel sector turístic com un fenomen a llarg termini, com un risc o amenaça que només cal tenir en compte quan els seus impactes siguin més clars i consensuats. En aquest sentit, hi ha una certa comprensió pel fet que els indicadors no semblen donar resultats gaire fiables, sinó més aviat el contrari: plens d'incerteses. Tot i així, es critica el sector pel seu caràcter eminentment conservador, amb una gran inèrcia que no afavoreix una aposta clara pel futur i que només busca el benefici immediat o com a molt amb un període temporal a molt curt termini. Així, es manifesta molt clarament com es parla del fenomen i s'afirma la necessitat que sigui abordat amb una prioritat absoluta només quan tenen lloc episodis extrems de sequera, manca d'aigua i neu, inundacions, etc. Aquest fet també deixa palès el fet que el sector turístic està molt atomitzat, la qual cosa es reflecteix en una manca d'iniciatives conjuntes i coordinades.

A més, algunes opinions creuen que el sector no se'n sent responsable en absolut i actua com si la resolució del problema hagués de ser només a escala institucional, tant a una escala d'administracions nacionals com internacionals. Això no exclou que hi hagi una certa acceptació per parlar del fenomen (més que res perquè és un tema de molta actualitat), que no vegi com a quelcom estrany els incentius per a l'aplicació de mesures d'adaptació i/o mitigació (només si aquestes han de suposar una reducció de costos, percepció de subvencions o millora de la imatge, que no per altra cosa).

Algunes de les respostes manifesten que el sector turístic només considera el canvi climàtic quan es tracta de fer declaracions de bones intencions però que després no es porten a la pràctica. D'alguna manera, el fenomen només interessa des del punt de vista teòric, acadèmic i institucional per a l'elaboració d'informes científics però no gaire o en absolut a escala em-

presarial. Fins i tot, hi ha dubtes del veritable interès per part de l'Administració (catalana) des del moment que aquest fenomen no es té gaire en compte en la Llei de turisme de 2002.

Per contra, les poques respostes afirmatives (si més no parcialment) limiten aquest major interès del sector turístic només als sectors previsiblement més amenaçats, bàsicament al del turisme de neu i, en menor mesura, al de sol i platja. Alhora, un parell més de respostes són més optimistes en afirmar que a Catalunya el sector turístic sí sembla considerar aquesta qüestió com a rellevant, i que aquesta és un exemple de bones pràctiques, tant pel que fa a les administracions com al sector privat i també a la ciutadania en general.

3. Creu que el sector considera avui dia, i més que fa 5 anys enrere, la possibilitat de canvis climàtics importants durant les properes dècades? (increment de la temperatura mitjana anual, descens de les precipitacions, augment dels episodis extrems, etc.)

La resposta majoritària continua sent que **NO** però ja no tant com abans, ja que en 10 enquestes la resposta ha estat afirmativa, malgrat que també amb matisos. Tot i que s'accepta una major sensibilització per part del sector turístic (si més no pel fet que se'n parla més i cada dia apareixen més informacions), l'opinió dels enquestats manté, d'alguna manera, els arguments de la pregunta anterior; en concret, es critica el sector per la manca d'una visió a més llarg termini i que només es guii per l'obtenció de beneficis a molt curt termini. Es com si el sector no s'ho acabés de creure del tot, fet al qual també que hi contribueix l'aportació per part dels *mass-media* d'informacions contradictòries, esbiaixades, incompletes, i amb uns horitzons temporals que depassen sovint amb escriure l'esperança de vida dels empresaris.

Com abans, només apareix l'alarma quan es produeixen episodis climàtics extrems, però ni molt menys el sector considera aquests hipotètics canvis o impactes com una amenaça. Més aviat, la preocupació més immediata és salvar la temporada any rere any, i més avui dia, en un context de greu recessió econòmica. Per tant, el sector està més interessat en els canvis que tinguin lloc tant en l'àmbit social i de comportament dels turistes com també en l'econòmic, i no en l'àmbit climàtic i natural. A més, algunes opinions apunten que el sector creu que en tota aquesta qüestió s'està generant una excessiva polèmica i, sobretot,

alarmisme i sensacionalisme (per tant es justificaria una certa desacreditació dels estudis científics i la creença que els estudis són només una manera d'alimentar la polèmica amb científics i ecologistes).

Per la seva banda, les opinions que s'inclinen pel **SÍ** accepten la possibilitat que el sector tingui en consideració aquests canvis, però alhora critiquen que això no es vegi acompanyat d'una actitud realment efectiva. Les opinions varien des de l'expectativa a veure com evoluciona el tema fins a deixar-se portar per les iniciatives que pugui dur a terme l'Administració, mentre que la majoria apunten a la manca d'un compromís i conscienciació fermes, d'internalització del problema en els esquemes de negoci de les empreses, així com l'aplicació de mesures de mitigació més aviat «cosmètiques», que no ataquen l'arrel del problema. Només unes poques opinions estan d'acord amb una major sensibilització vers els canvis, tant per part dels segments turístics més vulnerables (turisme de neu i sol i platja), alhora que també per part dels organismes internacionals (p. ex., l'Organització Mundial del Turisme).

4. Creu que els impactes del canvi climàtic sobre el turisme català poden arribar a ser importants? Ha canviat d'alguna manera la seva opinió als darrers 5 anys?

La resposta gairebé unànime ha estat afirmativa a les dues preguntes. En el primer cas, es destaca la importància dels impactes en els segments turístics ja esmentats del sol i platja i hivernal (més en aquest segon, però), malgrat que hi ha unes quantes respostes que indiquen que aquests canvis es manifestaran més aviat a mig i llarg termini. Sense negar aquesta importància, també un parell de respostes apunten a un major pes dels aspectes econòmics, i no tant als ambientals, en l'evolució futura del turisme català.

Quant a la segona part de la pregunta, gairebé la totalitat de les persones enquestades afirmen que la seva opinió dels impactes del canvi climàtic ha canviat als darrers 5 anys, mercès a la disponibilitat de més informació i opinions, i només tres persones han afirmat el contrari (reconeixent que en aquest període considerat ja tenien prou informació com per no justificar un canvi d'opinió).

5. Quines mesures adaptatives recomanaria al sector si aquests canvis s'acabessin produint? Creu que ja hi ha iniciatives en aquest sentit? Si en coïncideix alguna, la podria explicar?

Entre les diferents mesures adaptatives proposades a les enquestes, es poden citar les següents:

- Mesures relacionades amb la sensibilització, conscienciació i una major educació ambiental dels sectors implicats (empresarial, Administració i ciutadania). Una interiorització del problema i un canvi d'hàbits de consum, en l'ús d'energies i de practicar turisme.
- El foment de les vacances de proximitat o la millora dels nivells emissors del sector del transport.
- Mesures relacionades amb un increment dels estudis i la recerca en general. Aquests han de ser capaços d'oferir indicadors més fiables i amb desagregació a escala local. La comunicació de la informació no ha de generar alarmisme ni tenir un biaix sensacionalista.
- Canvi de mentalitat en el mesurament de l'èxit d'una temporada turística. Ja no importa tant la quantitat sinó la qualitat dels turistes que ens visitin.
- Implementació real i eficaç de bones pràctiques ambientals: compliment dels compromisos adquirits en Agendes Locals 21, certificacions ambientals, sistemes de gestió ambiental, iniciativa de «Municipi turístic sostenible», ISO, EMAS, Distinció de Garantia de Qualitat Ambiental, etc.
- Planificació integral / estratègic de tots els aspectes que intervenen en el problema a mig i llarg termini (fins i tot posant un especial èmfasi en els pitjors escenaris previsibles). Cal fer veure al sector els riscos a què s'exposa.
- La planificació s'ha de centrar més en mesures de caire estructural i d'ordenació territorial i no tant en les que emfasitzin només l'adaptació als canvis. Una visió molt més global del problema i no tant en fets puntuals. Necessitat d'actuar amb prou antelació i no esperar que els canvis esdevinguin.
- Lideratge de l'administració nacional i dels organismes internacionals (p. ex., es destaca el paper del CADS a Catalunya, de l'IPCC, etc.).
- Concentració i canvis d'estratègia empresarial i diversificació territorial.
- Mesures relacionades amb l'eficiència energètica i foment d'energies alternatives, reducció en el consum d'energia. Adaptació dels equipaments turístics a un nou consum energètic més racional i sostenible. Millora de l'eficàcia energètica en la construcció de les noves edificacions. Reducció de les emissions de CO₂, tot i que això es veu com d'una escala més global (no depèn tant de les destinacions turístiques).

- No seguir afavorint el creixement de la mobilitat mitjançant l'increment dels vols de companyies de baix cost, amb els conseqüents efectes en emissions de CO₂.
- Diversificació de l'oferta turística cap a productes menys dependents dels factors climàtics (p. ex., èmfasi en la reorientació de les estacions d'esquí), i expansió del turisme vers territoris menys vulnerables als impactes.
- Retirada o reubicació dels equipaments turístics més vulnerables a la pujada del nivell del mar (p. ex., un compliment estricte de la Llei de costes). Urbanització contra el canvi climàtic.
- Protecció amb actuacions «toves» (aportació de sorra a platges, restauració de dunes, reforestació) o «dures» (construcció de grans dics, espigons). A la pràctica, però, bona part d'aquestes actuacions no són gaire aconsellables i generen efectes nefastos en el medi natural.
- El canvi climàtic ha de ser vist també com una oportunitat per canviar el model turístic.

Persones que van respondre l'enquesta

Lorena Beas Secall (URV)
 Juan A. Duro Moreno (URV)
 Salvador Anton Clavé (URV)
 Josep Oliveras Samitier (URV)
 Òscar Saladié Borràz (URV)
 Juan A. García Suárez (UOC)
 Oriol Miralbell Izard (UOC)
 Francesc Gzlez. Reverté (UOC)
 Pau Morata Socias (UOC)
 Rosa M^a Fraguell Sansbelló (UdG)
 Lluís Mundet Cerdan (UdG)
 Gerda K. Priestley (UAB)
 Francesc Romagosa Casals (UAB)
 Gemma Cànoves Valiente (UAB)
 Xavier Font Urgell (UB) (DiBa)
 Martí Cors Iglesias (UB)
 Belen Gómez Martín (UB)
 Llorenç Prats Canals (UB)
 Antonio Martínez Puche (UA)
 Josep A. Ivars Baidal (UA)

José F. Vera Rebollo (UA)
 Carlos J. Baños Castiñeira (UA)
 Jorge Olcina (UA)
 Jaume Rosselló Nadal (UIB)
 Miquel Seguí Llinàs (UIB)
 Macià Blázquez Salom (UIB)
 Onofre Rullán Salamanca (UIB)
 Pere A. Salvà Tomàs (UIB)
 Climent Ramis (UIB)
 Cayetano Espejo Martín (UM)
 José L. Andrés Sarasa (UM)
 Mercedes Millán Escriche (UM)
 Luís Galiana Martín (UAM)
 Diego López Olivares (UC)
 Josep F. Valls Giménez (Esade)
 Raúl Lardiés Bosque (UExt)
 Alba Caballé Rivera (DiBa)
 Josep Cerveró
 Octavi Bono (Patronat Turisme Costa Daurada)

20. Residus

**Xavier Gabarrell¹ (coord.), Isabel Escaler², Xavier Font³, Anna Massagué²
i Joan Rieradevall¹**

¹ Grup de Sostenibilitat i Prevenció Ambiental (SosteniPrA, 2009SGR1050). Departament Enginyeria Química. Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA). Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

² CETaqua, Centre Tecnològic de l'Aigua.

³ Grup de Compostatge de Residus Sòlids Orgànics. Departament Enginyeria Química. Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA). Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

Xavier Gabarrell Durany (Barcelona, 1965) llicenciat en Ciències Químiques (Química Industrial) per la UAB i doctor en el Programa de Biotecnologia (1995). Va ser director de l'ICTA entre 2003 i 2006. Actualment és professor titular d'Enginyeria Química i investigador de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la UAB, on coordina el grup de recerca Sostenibilitat i Prevenció Ambiental (2009 SGR 1505). S'ha especialitzat en la docència i la recerca en l'àmbit de l'Enginyeria Ambiental. La seva recerca s'ha centrat en la Biotecnologia ambiental (tractament de residus mitjançant fongs,...), així com en l'Ecologia Industrial, en les àrees de la gestió de residus, el desenvolupament d'eines d'anàlisi ambiental i la seva aplicació, l'anàlisi del cicle de vida, així com l'anàlisi de fluxos materials i energètics.

Isabel Escaler Puigoriol és enginyera de Camins, Canals i Ports per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), especialitzada en hidràulica i enginyeria ambiental. Té una àmplia experiència a Clavegueram de Barcelona, S.A. (CLABSA), on va treballar com a tècnic de la secció de cartografia i explotació abans de passar a ser responsable de la secció d'explotació durant quatre anys. Posteriorment hi va dirigir el servei d'explotació i control ambiental. Té experiència en projectes relacionats amb la gestió i operació de sistemes de clavegueram. Entre d'altres, ha treballat en el disseny i la implementació de sistemes de telecontrol per la supervisió i operació de xarxes de clavegueram, així com en estratègies d'operació per a tancs de detenció en sistemes de clavegueram, amb l'objectiu d'evitar inundacions durant els episodis de pluja. Ha estat també *Project Manager* en projectes desenvolupats per a altres institucions. Des del 2007, és directora de la línia d'investigació de CETaqua centrada en l'àmbit dels impactes del Canvi Global en el cicle de l'aigua, on dirigeix projectes relacionats amb la mitigació i l'adaptació al Canvi Climàtic. A més, ha participat en la *Task Force Climate Change* de la Plataforma Europea de l'Aigua (WssTP).

Xavier Font Segura (Edmonton, Canadà, 1967) és llicenciat en Química, especialitat Bioquímica (1991) i doctor en Ciències (1997) per la Universitat Autònoma de Barcelona. Ha estat professor i director de l'Escola Universitària Politècnica del Medi Ambient i actualment és professor del Departament d'Enginyeria Química de la Universitat Autònoma de Barcelona. Ha centrat la seva recerca, principalment, en el tractament biològic d'aigües residuals, especialment aquelles amb

caràcter tòxic o poc biodegradable, i en el tractament biològic de residus mitjançant digestió anaeròbia i compostatge. Actualment està treballant en la determinació dels impactes ambientals associats a les instal·lacions de tractament de residus sòlids orgànics.

Anna Massagué Olivella és enginyera Industrial Superior per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Ha cursat a més un Màster en Diagnosi Ambiental impartit per la *Cranfield University* i un postgrau en depuració de la Fundació UPC. Va iniciar la seva carrera professional com a tècnica en l'enginyeria Sistemes i Tecnologies Ambientals (STA), especialitzada en el tractament d'olors i COV, abans d'incorporar-se a CETaqua el 2007 com a investigadora a la línia dedicada als impactes del Canvi Global en el cicle de l'aigua. En aquesta línia lidera els projectes dedicats a la mitigació de l'impacte del canvi climàtic, relacionats amb la petjada de carboni i l'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV).

Joan Rieradevall, doctor en Ciències Químiques per la UAB, màster en Gestió Gerencial per EADA i diplomat en Enginyeria Ambiental, és professor titular del Dept. d'Enginyeria Química i investigador del *SosteniPra* de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de l'UAB. Ha dut a terme recerques Ciències Ambientals en ACV, Ecodisseny, prevenció i reciclatge de residus, aprofitament energètic de la biomassa i ecologia industrial. Ha estat premiat pel DMAH de la Generalitat de Catalunya en la modalitat universitats el 2006. Ha desenvolupat projectes sostenibles agenda 21 la Ciudad de Barcelona 2004, Disseny per al Reciclatge 2000 del DMAH de Generalitat de Catalunya 2001, Ciudad de Barcelona 1990 de Tecnologia Aplicada al Medi Ambient Ajuntament de Barcelona el 1991.

Resum	877
20.1. Introducció	879
20.2. Sistemes de recollida i transport de residus	885
20.3. Compostatge	889
20.4. Digestió anaeròbia	892
20.5. Abocadors	894
20.6. Aigües residuals	900
20.7. Conclusions	904
Referències	906
Abreviatures i sigles emprades	908

Resum

Les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) procedents dels residus, tant sòlids com líquids, es poden generar en la recollida i en el transport d'aquests residus, i també en cadascuna de les operacions a què se sotmeten, ja sigui per valoritzar-los, reciclar-los, o tractar-los, i en la seva disposició final. Les operacions a què se sotmeten els residus han de seguir la jerarquia fixada per la Directiva de residus (Directiva 2008/98/EC), que preveu prioritzar en primer lloc la prevenció, la reutilització, la valorització material i la preparació per a la reutilització, la valorització energètica i la disposició final en dipòsit controlat.

El sector residus és el responsable aproximadament del 5% de les emissions de GEH del planeta, segons l'IPCC (IPCC, 2006). A Catalunya les emissions de GEH generades pel sector residus eren de 2,7 Mt de CO₂ equivalents l'any 2005; això significava el 4,55% de les totals del país, distribuïdes principalment entre les generades pels abocadors, el 2,87%, i el tractament d'aigües residuals, l'1,34%. Respecte a l'any referència, aquestes emissions pel sector residus s'havien incrementat per un factor d'1,47 (Dept. MAH, 2008).

Els continguts del capítol 20 del SICC complementen el capítol de residus del PICS i, al mateix temps, s'hi ha aprofundit en dos aspectes nous: l'anàlisi dels sistemes de recollida i transport, i la preestabilització de la matèria orgànica ràpidament biodegradable (MORD) dels residus secundaris que actualment es gestionen cap a

l'abocador. La taula següent recull els aspectes analitzats en aquest capítol per a cadascuna de les fraccions. S'ha considerat el concepte d'anàlisi del cicle de vida per analitzar els impactes i les emissions de GEH en l'etapa de recollida i transport dels residus. També s'han analitzat els tractaments de compostatge i digestió anaeròbia, així com la disposició final en abocadors, i el tractament de les aigües residuals per poder plantejar les mesures de mitigació.

En l'anàlisi de l'estat actual a Catalunya s'ha constatat que caldria dur a terme accions de recerca en els aspectes següents:

- Dades experimentals de caire local en les emissions en les diferents operacions unitàries de les EDAR.
- Dades experimentals de caire local del percentatge de captació de biogàs en els abocadors.
- Caracterització adequada dels fluxos de residus de la construcció, així com dels residus industrials assimilables a residus sòlids municipals (RSM), inadecuadament classificats com a generals, i fins i tot en algun cas com a banals.
- Descripció del metabolisme d'alguns materials, com els plàstics, per la seva rellevància en els propers anys.
- Descripció del metabolisme dels fluxos del sector residus i en especial dels residus secundaris.
- Anàlisi del cicle de vida adaptat a les tecnologies i les tècniques reals dels tractaments tèrmics (assecatge, evaporació i combustió, entre altres) aplicats als residus.

Residus	Recollida i transport	Tractament	Estratègies de mitigació de les emissions de GEH
RSM	X	X compostatge X digestió anaeròbia abocadors	X
Runa	X		X
Residus ramaders	X		X
Residus industrials		X abocadors	X
Aigües residuals	X	X aeròbic X anaeròbic	X

Aspectes analitzats en el capítol 20 del SICC.

El Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya (PMMCCC) preveu per al sector residus una reducció total d'emissions de 0,325 Mt CO₂ eq./any. Les oportunitats que ofereix aquest sector per a reduir les emissions de GEH són nombroses i poc aplicades fins avui. La primera de les mesures, reiterativa, és la reducció en origen a partir de les bones pràctiques dels fluxos de residus: runa, residus ramaders, RSM, residus industrials, aigües residuals urbanes i industrials, i residus secundaris. La reducció del flux de residus secundaris serà clau en els propers anys, ja que ha estat el flux que més s'ha incrementat darrerament. També serà clau incidir en el transport dels residus, començant per ramaders, runa, secundaris i RSM; a mesura que es disminuiran les emissions en les plantes de tractament i abocadors, les emissions en l'etapa de transport seran més rellevants. El transport interurbà dels RSM és un factor clau en què cal actuar per disminuir en el futur aquestes emis-

sions. Sense comptabilitzar les emissions de GEH en els transports procedents dels residus industrials i secundaris, així com de les aigües residuals (sistema de clavegueram), les emissions en la recollida i transport superaren les 260 mil tones de CO₂ equivalent.

Per als RSM s'ha plantejat un «escenari de transició 2012» basat en els rendiments del funcionament actual, les previsions dels plans de gestió —increment de la recollida selectiva de FORM i disminució de la generació, entre altres— i la incorporació de la preestabilització biològica de les fraccions que es gestionen cap a l'abocador. Els resultats demostren que els guanys que aquest escenari podria aportar a mitjà termini són considerables i, doncs, no menyspreables. Aquest escenari aplicat als RSM permetria assolir per si sol les reduccions previstes en el PMMCCC en només dos anys una vegada implantat, encara que les principals reduccions serien a mitjà termini.

20.1. Introducció

El sector residus és el responsable aproximadament del 5% de les emissions de GEH del planeta (IPCC, 2006). Aquestes emissions procedeixen principalment del metà de la descomposició anaeròbia dels residus sòlids i de la descomposició de les aigües residuals. Fins avui, el cicle de vida de les activitats associades amb la gestió dels residus no ha estat gaire considerat (Lou, 2009). Durant molts anys la destinació principal dels residus han estat els abocadors. La consideració dels impactes ambientals, així com les exigències legals, la darrera de les quals és la Directiva marc sobre residus (Directiva 2008/98/EC), i els esforços per reduir l'emissió de GEH, imposen reduir dràsticament la disposició final de residus en abocadors sense una estabilització prèvia, i afavoreixen la seva valorització. Des del punt de vista de l'impacte sobre les emissions de GEH, a més de la reducció en la generació i la reutilització, el tractament de compostatge i precompostatge significaran etapes de transició cap a nous models de desenvolupament.

A l'Estat espanyol el sector de tractament i eliminació de residus contribueix en un 3,2% (any 2007) a les emissions totals de GEH, mentre que l'any 1990 només en representaven el 2,6% (MMAR, 2009). En valors absoluts, i respecte a l'any referència, hi ha hagut un augment del 83% en aquest sector. Es tracta del grup d'activitat que més ha crescut percentualment durant aquests disset anys, la qual cosa indica també que és un dels sectors que més potencial de disminució tindrà en els propers anys.

A Catalunya les emissions de GEH generades pel sector residus eren de 2.700.100 tones de CO₂ equivalents l'any 2005; això significava el 4,55% de les totals del país, distribuïdes principalment entre les generades pels abocadors, 2,87%, i el tractament d'aigües residuals, l'1,34%. Respecte a l'any referència, aquestes emissions del sector residus s'han incrementat per un factor 1,47 (Dep MAH, 2008).

Les emissions del sector residus estan incloses dins les anomenades difuses, és a dir, no resten sotmeses a la Directiva de comerç de drets

d'emissions ni afectades per la Llei 1/2005. El Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya (PMMCCC) 2008-2012 (Dep MAH, 2008) preveu una sèrie de mesures que afecten el sector residus, i que seran considerades en els respectius apartats d'aquest capítol.

En aquest capítol no es pretén fer la quantificació de les emissions generades pels residus; en canvi, s'hi analitzen els aspectes que es consideren més rellevants per a mitigar-les. Amb aquest objectiu, es mostraran quantificacions parcials o de nous escenaris per poder valorar la incidència que podrien tenir les mesures proposades. L'anàlisi de les propostes de mitigació dels GEH s'ha dut a terme tenint en compte els continguts del PICS, i la consideració del cicle de vida dels productes en alguns casos. Malgrat això, cal veure també en el SICS algunes limitacions que ja hi havia en el PICS: només es tenen en compte els principals gasos que contribueixen al canvi climàtic, excepte quan s'indica; tampoc s'han tingut en compte les emissions generades per substàncies i productes el posseïdor de les quals se'n desprèn però no són gestionades com a residus. Per altra banda, es vol assenyalar que en aquest capítol no es tractarà el possible aprofitament energètic dels residus de biomassa agrícola i forestal, ja que això correspondria a un altre dels capítols del SICS.

En un sistema com l'actual, un producte és el resultat d'un procés en el qual intervenen tot un seguit de matèries primeres (entre les quals hi ha l'aigua) i energia; per a l'obtenció d'aquestes matèries primeres i de la mateixa energia han estat necessàries operacions que han generat emissions, però que en aquest capítol no es consideren. Al mateix temps, una vegada tenim el producte, aquest és utilitzat i reutilitzat (fase d'ús, que tampoc no es té en compte en aquest capítol), i finalment esdevé un residu. Convertit ja en residu, o classificat com a tal, se'n fa una gestió, fins que es degrada durant un llarg període de temps. Les operacions a què se sotmeten els residus (figura 1) han de seguir la jerarquia fixada per la Directiva de residus (Directiva 2008/98/EC), i que preveu prioritzar en primer lloc la prevenció, la reutilització, la valorització

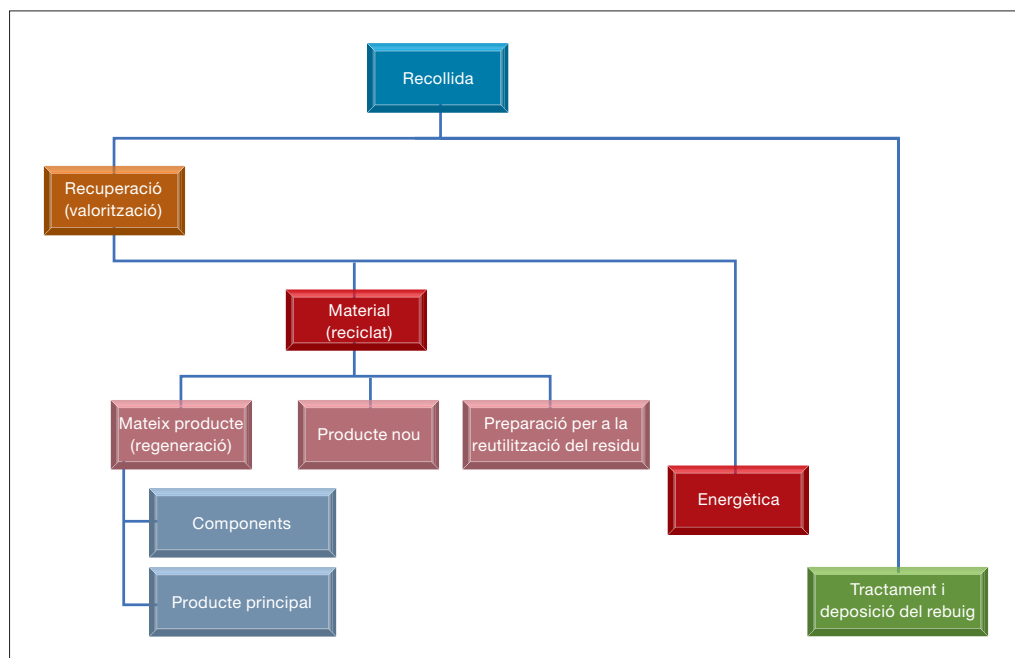


Figura 1. Jerarquia en la gestió dels residus segons la Directiva 2008/98/EC.

material i la preparació per a la reutilització, la valorització energètica i la disposició final en dipòsit controlat, respectivament.

La gestió dels residus s'inicia amb la recollida i el transport, si es dona el cas, seguits del tractament. Són aquestes etapes les que han estat objecte d'anàlisi en aquest capítol: les emissions generades pel residu i la seva contribució al canvi climàtic des de la recollida fins la disposició final. S'analitza en aquest capítol amb més detall la contribució generada pel transport dels residus urbans en la seva primera fase de recollida, que sovint és necessari per a una correcta gestió dels residus i que depèn molt de l'emplaçament de les diferents infraestructures (plantes de compostatge, metanització, triatges, abocadors, incineradors o plantes de transferència).

L'anàlisi s'ha dut a terme en funció de la gestió que rep el residu; a més, aquest informe se centra en aquelles operacions i processos no analitzats en detall en la versió anterior: recollida dels residus sòlids urbans, compostatge i processos en les depuradores d'aigües residuals urbanes. S'han analitzat especialment els canvis

que comportarà l'aplicació de les darreres directives en residus. Es descriu la situació actual i s'ha plantejat l'anàlisi d'un escenari de transició.

Els principals GEH emesos pels residus, expressats en unitats de CO_2 equivalents són el diòxid de carboni (CO_2), el metà (CH_4), i els òxids de nitrogen, (NO_x). Aquestes emissions són produïdes principalment en degradar-se la matèria orgànica. Tenim també altres emissions més específiques, com per exemple les d'HCFC, que són més sectorials.

Generació de residus

Per poder valorar la mitigació dels GEH emesos pels residus caldrà conèixer la quantitat de residus que es generen. En el PICS s'aportaven dades reals de fins a l'any 2000, i excepcionalment en algun cas fins a l'any 2001. La resta eren les projeccions existents en aquell moment procedents dels plans de gestió. A la taula 1 es presenta la quantificació dels residus de l'any 2000 en el PICS, i de l'any 2007, que és l'any que es pren com a referència en aquest capítol.

	Any 2000	Any 2007
Industrials	5,6	9,0
Municipals	3,5	4,3
Runa	5,5	13
Ramaders	13	13
Aigües residuals urbanes	> 400	> 400
Aigües residuals industrials	> 125	> 125
Població (habitants)	6.090.040	7.210.508

Taula 1. Els residus a Catalunya, anys 2000 i 2007 en milions de tones, i la població.

Font: Elaboració pròpia a partir de dades del PICS, de l'ACA i de l'ARC.

A partir de l'any 2006 (inclòs) l'Agència de Residus de Catalunya (ARC) introdueix nou criteris en la metodologia estadística dels residus industrials. En la nova metodologia (ARC, 2009) s'han desagregat els residus secundaris, és a dir, els generats per les empreses de serveis de gestió de residus, de la resta de residus industrials, per a evitar la doble comptabilitat. Així, en les estadístiques dels residus, d'una banda hi havia els criteris seguits fins el 2005, i d'una altra els aplicats a partir del 2006. Les dades estadístiques històriques compreses fins a la declaració de residus de l'any 2005 corresponen a dades agregades, sense distinció entre residus procedents d'activitats industrials i residus originats per activitats de serveis ambientals (depuradores d'aigües residuals i gestors de residus). La nova metodologia permet diferenciar més clarament el reciclatge net, en lloc de referir-se a les quantitats en brut. Per exemple, una planta de reciclatge podria rebre 1.000 tones de residus per reciclar, però això no significa que en finalitzar el procés s'obtinguin 1.000 tones de nous materials. El rendiment no és del 100%, i sovint el flux de sortida de residus que es generen —anomenats residus secundaris— són considerables. Un cas aplicat d'aquesta problemàtica es pot trobar en l'article de Frangkou (Frangkou *et al.*, 2009) en el qual analitza les dades de gestió dels residus urbans, i es posen de manifest aquestes diferències entre la recollida per reciclar i el que finalment s'acaba reciclant.

A la taula 1 s'han mantingut en la columna de l'any 2000 els valors presentats en el PICS. En aquell informe s'havien considerat 5,6 milions de tones de residus industrials per a l'any 2000,

segons el criteri estadístic de l'ARC, seguit fins el 2005. A la columna de l'any 2007, per als residus industrials s'ha considerat el valor obtingut a partir de *Les estadístiques de gestió de residus industrials, entrades a planta mitjançant empreses autoritzades*, per a l'any 2007; és a dir, els milions de tones entrats a les plantes dels gestors de residus, que van ser 9 milions. El valor anàleg, estimat també per l'ARC, encara que poc precís, per a l'any 2000, hauria estat de 5,4 milions de tones. Si considerem per a l'any 2007 només els residus industrials —sense els secundaris ni llots de depuradora— tindriem el 2007 el valor de 5,4 milions de tones.

Per entendre el significat d'aquestes dades ens fixarem en l'any 2007 i utilitzarem estimacions pròpies. El sector industrial va generar 5,4 milions de tones de residus. Aquests residus van ser gestionats a través dels gestors autoritzats. A més, dins el sector de serveis ambientals, les plantes de gestió de residus van generar també més d'un milió i mig de tones de residus; les plantes de tractament de residus municipals van tornar a generar un altre milió de tones de residus secundaris; i, procedents del sector de la construcció, les plantes de gestió de residus de la construcció i demolició van generar 0,8 milions més de tones de residus secundaris. Tot plegat, el sistema macroeconòmic, Catalunya com a conjunt, va acabar gestionant 9 milions de tones de residus industrials i secundaris, amb el transport que això implica, si bé alguns fluxos anomenats secundaris eren el resultat de la gestió dels mateixos residus. Les emissions de GEH es poden generar en el transport i també en cadascuna de les operacions a què se sotmet; per tant, caldrà considerar els 9 milions globals, encara que en el seu origen només eren 5,4 milions de tones.

Dels residus generats a Catalunya (taula 1), els que contenen la major part de matèria orgànica són els residus municipals i els ramaders. Els residus industrials inclouen una sèrie de fraccions valoritzables (68%), una part de matèria inorgànica (sals, cendres, salmorres...) i una petita part de matèria orgànica, que en darrer terme anirà a disposició final en dipòsit controlat (24%), després d'haver estat sotmes a diferents operacions d'estabilització. La inci-

neració de residus industrials representa menys de l'1%, mentre que hi ha un altre 7% de tractaments específics (tractament fisicoquímic de medicaments, de residus especials, tractament de llots de depuradora, tractament de residus carnis, de residus especials o de residus sanitaris).

Es presenten a la gràfica 1 les principals dades de generació de residus a Catalunya i la seva evolució durant els darrers anys. Les dades procedeixen de l'ARC. Les dades de residus industrials són les referenciades per l'ARC com a 'generació de les indústries'. Les dades mostrades des del 2006 en endavant corresponen a les dades reals, obtingudes segons els nous criteris estadístics implantats el 2006. Per facilitar la consulta de dades històriques comparables es mostren dades estimades per als anys 2002 a 2005, també facilitades per l'ARC. Aquestes darreres dades, tal com fa notar la metodologia (ARC, 2009), no han de coincidir necessàriament amb les que la mateixa ARC ofereix en l'apartat «Consulta de dades de la declaració anual de residus industrials. Fins 2005».

S'inclouen en la categoria de 'generació de llots de depuradora' els llots i residus de depuració corresponents a les estacions depuradores d'aigües residuals urbanes.

La destinació dels residus i les aigües residuals produïts a Catalunya són les plantes de reciclatge, els abocadors, les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR), els ecoparcs, les plantes de metanització, les plantes incineradores i les plantes de compostatge.

Runa

En principi en molts treballs no es té en compte la contribució de la runa en l'emissió de GEH, ja que hauria de ser material inert (ciment, formigó, guixos...), però sí que és rellevant la seva contribució pel que fa al transport que requereixen. Es tracta de 13 milions de tones que generen un transport local no menyspreable.

El 2007 la valorització de runa es va multiplicar per 10, però amb tot i això, i tenint en compte la disminució en la generació respecte a l'any anterior (figura 3), el percentatge valoritzat va ser només del 27%. La composició de la runa pot ser variable i, si no s'ha dut a terme una classificació prèvia, també pot contenir materials amb contingut de carboni biogènic —per exemple, procedent de la fusta—, i fòssil —per exemple, procedent de plàstics. L'informe de l'IPCC (IPCC, 2006) els atribueix un contingut per defecte del 4% de carboni orgànic degradable i del 20% de carboni fòssil.

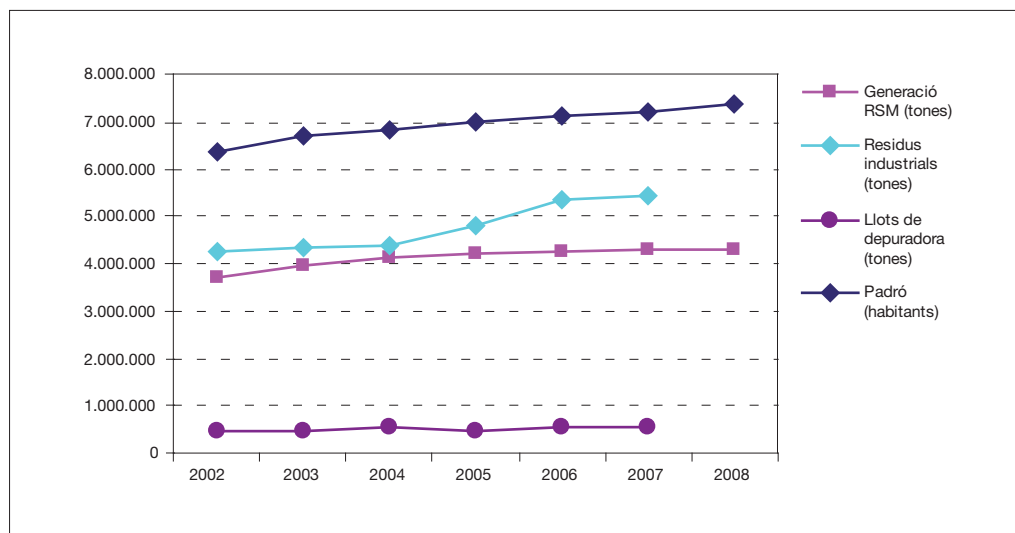


Figura 2. Evolució de la generació de residus sòlids municipals (RSM), residus industrials (no inclosos els secundaris), i llots de depuradora, en tones, i la població segons el padró.

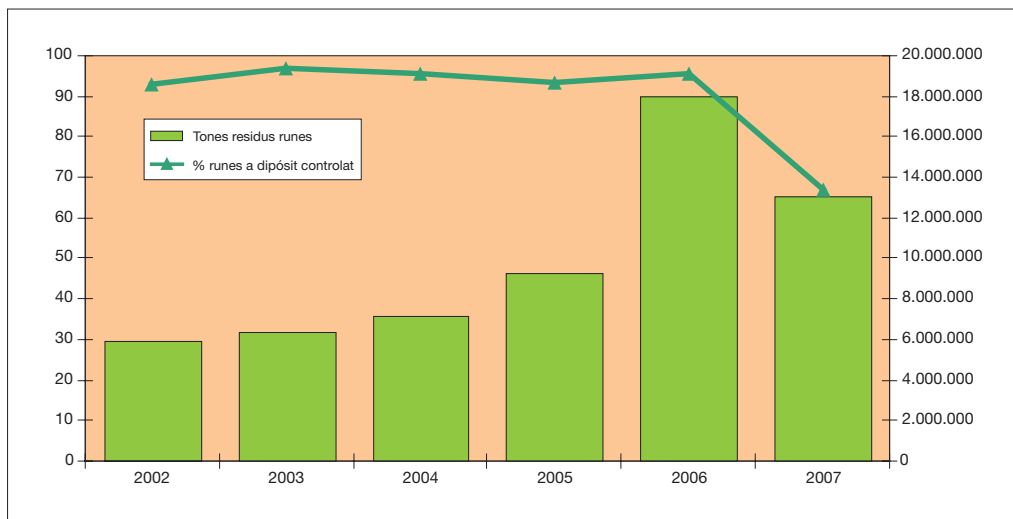


Figura 3. Evolució de la generació de runa a Catalunya, en tones, i del percentatge que se'n destina a dipòsit controlat, pel període 2002-2007.

Els residus ramaders

A Catalunya els residus d'origen ramader tenen una gran importància. Ara bé, actualment aquests residus no s'acostumen a gestionar com a residus, i la pràctica més usual és dispersar-los en els camps, com una esmena orgànica en la fertilització. La major part dels purins s'aboca als sòls. Aquesta és una gestió poc adequada per a algunes zones de Catalunya, que compten amb uns sòls contaminats i molt castigats justament per aquests abocaments. En l'anterior informe (PICS) ja es va fer una anàlisi de possibles escenaris que continua sent vigent, com ho són també les mesures de mitigació proposades. La quantitat d'aquests residus gestionats en plantes de tractament s'ha incrementat, però encara no arriba ni al 5% del total. Esmentarem que, tal com succeeix amb la runa, el transport d'aquests residus també representa una important contribució a l'emissió de GEH. Majoritàriament es tracta d'un transport local —encara que en algunes situacions s'arriben a transportar 100 quilòmetres o més, ja que hi ha algunes zones saturades i contaminades de purins—, però realitzat amb vehicles menys eficients des del punt de vista de les emissions, com els tractors, que encara no estan dissenyats per minimitzar els impactes ambientals.

El PMMCCC considera, dins el programa de reducció d'emissions en els sectors difusos, un

subprograma de reducció d'emissions al sector agrari. Hi ha una acció específica:

Acció 1.1.1.1. Increment de la biodigestió anaeròbia dels purins i aprofitament del biogàs generat. L'activitat ramadera és, dins el sector agrari, la que genera més emissions de CH_4 . A més, també és generadora d'altres emissions: CO_2 per consums energètics, N_2O , etc. No obstant això, es poden aconseguir reduccions considerables de CH_4 mitjançant la digestió anaeròbia de les dejeccions. Es considera factible, per al període 2008-2012, la posada en marxa d'instal·lacions de producció de biogàs a partir de la digestió anaeròbia dels purins, que aconseguirien una reducció mitjana anual en el període 2008-2012 de 0,109 Mt CO_2 eq./any.

Aquesta acció ja va ser proposada i valorada en el PICS, tot considerant la producció de residus ramaders a Catalunya i el potencial de generació. Evidentment, la seva implantació depenia del funcionament de les infraestructures actuals i del desenvolupament d'infraestructures noves; actualment encara no s'han assolit les reduccions proposades en el PICS, ja que la implantació d'aquestes plantes de tractament està molt alentida.

Residus sòlids municipals (RSM)

Els RSM són el conjunt de residus produïts a les llars, comerços, oficines i serveis, i també els pro-

cedents de la neteja de carrers, parcs i jardins. La producció de RSM havia augmentat a Catalunya un 50% els anys noranta (PICS, 2005). L'any 2000 es van generar més de 3,4 milions de tones de RSM, que corresponien a una mitjana d'1,57 kg per habitant i dia. L'any 2008 es van generar 4,2 milions de tones de residus, però la ràtio s'havia incrementat fins a 1,59 kg per habitant i dia. De fet l'increment es produeix durant el període 2000-2004 (s'arriba a 1,66); es manté constant durant els 3 anys següents, i finalment comença a disminuir a partir de l'any 2007. Els objectius que es fixava el PROGEMIC per a l'any 2003 i 2006 no es van assolir (PICS). Per tant, pel que fa als RSM continuen sent vàlides les estimacions fetes en el PICS.

En els dos darrers anys ha augmentat el nombre de plantes de triatge, però els valors de residus separats encara és petit. Les vies de gestió que més s'han incrementat han estat la metanització (digestió anaeròbia) i el compostatge, tal com es preveia en l'informe anterior. Aquest informe dedica un apartat específic al compostatge (SICC 20.3) i les seves implicacions en l'emissió de GEH. A la figura 4 es presenta l'evolució de les entrades de residus a les plantes de compostatge durant el període 2003-2008. Pel que fa a la digestió anaeròbia, en el PICS se'n feia una descripció acurada.

Actualment la deposició controlada dels residus municipals és la via més utilitzada per a aquest tipus de residu; l'any 2007 el 45% dels residus municipals generats a Catalunya van acabar en dipòsits controlats de forma directa; el 13%, a incineració; el 34% es va reciclar, i el 8,5% es destinà a metanització. Els tres darrers percentatges són valors bruts, perquè d'aquestes instal·lacions en van sortir també residus secundaris, comptabilitzats com a residus industrials. Així, el percentatge total de RSM, ja sigui directament com a residu o indirectament com a residu secundari, que va ser gestionat cap a dipòsit controlat, se situa cap al 60%. En valors absoluts, la incineració de RSM ha disminuït un 20% en el període 2001-2008.

Tenint en compte aquestes dades, les mesures de mitigació que es proposen són les següents:

- Desenvolupar un nou marc legal de la prevenció. El Departament de Medi Ambient i Habitatge ja ha iniciat els treballs pel desenvolupament d'un nou marc legal per a Catalunya en prevenció de residus. En aquest nou marc cal adoptar mesures que tinguin en compte tot el cicle de vida dels productes i materials, inclosos el disseny i la fabricació, amb l'objectiu també de la prevenció i la

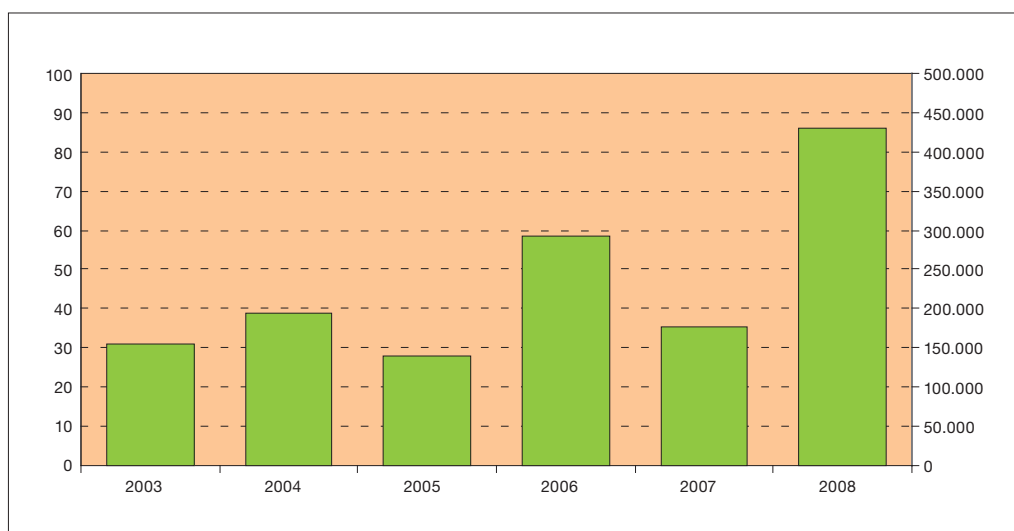


Figura 4. Evolució de la FORM tractada en les plantes de compostatge de Catalunya, en tones, en el període 2003-2008.

reutilització d'envasos. En concret, cal incidir en tres àmbits:

- reduir el 4% en pes, abans de finalitzar el 2012, la generació de residus d'envasos a Catalunya respecte al 2006;
 - reduir el 50% el nombre de bosses de plàstic abans de finalitzar el 2012, respecte a la quantitat consumida durant l'any 2007;
 - promoure el disseny d'envasos ecològics que tinguin un impacte mínim en tot el seu cicle de vida;
 - minimitzar el sobreenvasatge, principalment en els punts de venda.
- Estudiar la viabilitat ambiental, social i econòmica dels sistemes de devolució, dipòsit i retorn.
 - Promoure un mercat de reutilització de productes i de productes reciclats. La utilització de material reciclat de productes de la xarxa Compri Reciclat de l'ARC en comptes de material primari pot ser un bon exemple de prevenció ambiental d'emissions de CO₂.
 - Continuar i intensificar les campanyes de foment de la prevenció de residus posades en marxa pel Centre Català del Reciclatge, el foment dels premis del disseny per al reciclatge i la xarxa de compra de material reciclat com a estratègies per a fomentar la prevenció de les emissions de GEH.
 - Continuar i intensificar el foment de plans empresarials de prevenció i plans locals de prevenció d'envasos ja iniciats en els darrers anys pel Centre Català del Reciclatge; impulsar els acords voluntaris amb els agents implicats en la cadena d'envasatge i comercialització dels envasos.

20.2. Sistemes de recollida i transport de residus

Les mesures de mitigació de les emissions de GEH també poden orientar-se a la fase de transport. Per a analitzar-les s'ha utilitzat la metodologia de l'anàlisi del cicle de vida (ACV) (Riera-devall, 1999).

Aquest apartat s'ha centrat bàsicament en la fase de recollida i transport dels RSM, i també s'han fet unes estimacions aproximades pel que fa a les emissions generades pel transport de la runa i els residus ramaders, ja que representen

els principals fluxos de residus a Catalunya. Les emissions de GEH estan relacionades amb el consum d'energia, principalment dièsel, per part dels diferents vehicles involucrats. Amb el pas del temps, els vehicles també han millorat des d'una categoria EURO II a una categoria EURO V, que seria l'actual. Les tones de CO₂ eq. depenen de la quantitat de GEH emeses, principalment CO₂ i NO_x per litre de combustible consumit (és a dir, cremat). Les majors variacions entre les dues categories han estat en els NO_x, que han passat dels 30,4 g per litre en l'EURO II a 17 g per litre en l'EURO IV.

Quantificació de les emissions a Catalunya pels RSM

La metodologia i els resultats que es presenten per la fase de recollida i transport dels RSM es poden ampliar amb els treballs de SosteniPrA (Iriarte *et al.*, 2009, Rives *et al.*, 2010). S'han comparat les emissions de GEH en la fase de recollida i primer transport per tres metodologies de recollida diferents, que s'apliquen en àrees densament poblades, en aquest cas l'àrea metropolitana de Barcelona, de 5.000 hab/km². En aquest subapartat (específic del transport) no es tenen en compte les emissions en les plantes de tractament, com tampoc les eficàcies que es puguin obtenir en aquestes plantes; s'ha suposat que l'eficàcia en tots els casos és la mateixa, perquè la comparació sigui només sobre la fase de recollida i primer transport. Les metodologies comparades són la recollida mòbil pneumàtica, el sistema multicontenedor (o de cinc contenidors) en vorera, i el sistema porta a porta. S'ha considerat en cada cas els temps de vida de cada sistema i que el comportament ciutadà és el mateix per les tres metodologies. Els consums de combustibles s'han estimat a partir de la modelització del sistema, tenint en compte les capacitats dels contenidors i vehicles, les densitats de les diferents fraccions i la freqüència de pas dels vehicles, entre altres factors locals. Per a l'aplicació de l'ACV s'utilitzà el programari *SimaPro* 7.0.2. El sistema estudiat per les tres metodologies es troba representat a la figura 5. Dins el sistema es diferencien tres subetapes: el subsistema de recollida, el subsistema de transport urbà i el subsistema de transport interurbà.

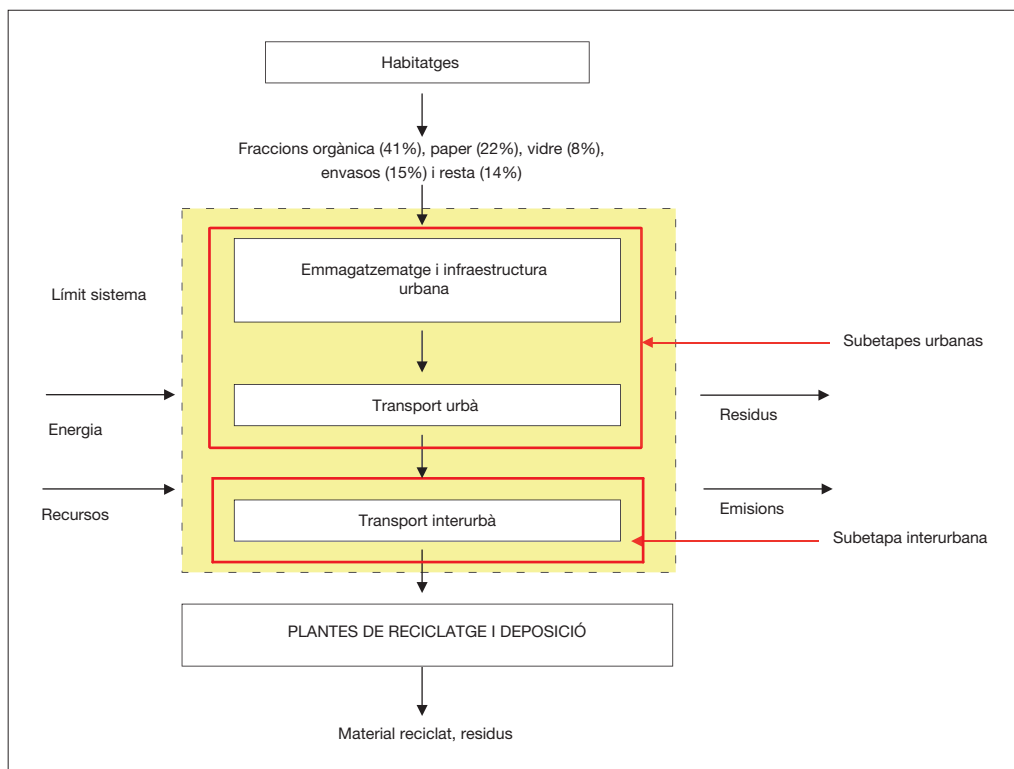


Figura 5. Descripció del sistema per a la recollida i transport dels RSM. La ratlla discontinua representa els límits del sistema considerat, dins el qual s'han delimitat tres subsistemes o subetapes. Traduït d'Iriarte, 2008.

Les distàncies de transport interurbà s'han considerat en l'anàlisi de sensibilitat, de manera que varien entre 0,01 km, la mínima, fins a 30 km. Els resultats mostren que la metodologia de recollida amb menor emissió de GEH, tenint el compte el cicle de vida dels materials i l'energia involucrada, és la de multicontenidors. Les emissions de GEH generades en el model multicontenidors, així com en el model porta a porta, són menys de la meitat que les generades en la metodologia de recollida pneumàtica mòbil, si considerem només els subsistemes de recollida i transport urbà. Entre les altres dues metodologies, les diferències en emissions són mínimes. Si considerem el sistema sencer, per una distància interurbana de 10 km, les emissions de GEH en la metodologia multicontenidor són 9,8 kg CO₂ eq. per tona de RSM, mentre que en el porta a porta són lleugerament inferiors, 9,2 kg CO₂ eq. per tona de RSM, i en la metodologia de recollida pneumàtica són de 16,7 kg CO₂ eq. per

tona de RSM. Aquests valors són comparables als referenciats per Larsen (Larsen *et al.*, 2009) en el cas multicontenidor per la tipologia de centre ciutat a Dinamarca.

Els resultats de l'anàlisi de sensibilitat (Iriarte *et al.*, 2009) també alerten que a partir de distàncies interurbanes superiors a 11 km, el transport interurbà és el subsistema que més contribueix en l'emissió de GEH en la recollida i transport, tal com es pot veure a la figura 6. Aquests valors també són comparables als que es podrien deduir de les gràfiques presentades per Larsen (Larsen *et al.*, 2009) en les quals es podria apreciar que, cap als 10-15 km, el transport interurbà igualaria les emissions generades en la fase de recollida.

Per tant, el transport interurbà és un factor clau en què convé incidir per disminuir en el futur aquestes emissions. En aquestes condicions, tenint en compte que el model més estès el 2008 és el multicontenidor, les emissions de GEH en la recollida i transport dels RSM, tenint

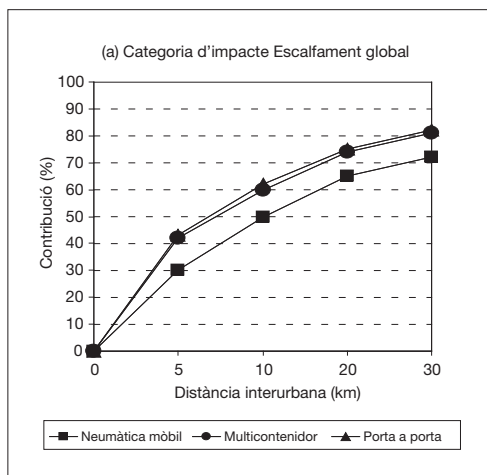


Figura 6. Contribució en percentatge de les emissions generades en el transport interurbà, respecte a les totals en la recollida i transport, per les tres metodologies.

Font: Iriarte, 2009.

en compte el seu cicle de vida, seria de 40.000 tones de CO_2 eq. si la distància interurbana fos de 10 km, però arribarien a les 80.000 tones CO_2 eq. per a una distància mitjana de 30 km. Si pensem que la població catalana es troba distribuïda de manera desigual arreu del territori i que, com menor és la densitat, més s'incrementen les distàncies, és previsible que les emissions reals fossin fins i tot superiors. En el treball de Larsen (Larsen *et al.*, 2009), que diferenciava tipologies urbanes i es basava en dades de camp obtingudes en els municipis de Herning (300.000 habitants) i Aarhus (60.000 habitants) de Dinamarca, s'assenyalava que el consum de dièsel variava entre els 1,6 i els 10,1 litres per tona de residus, depenent principalment de la densitat de població (com menys densitat, major consum). Tenint en compte aquestes dades, segons les quals les emissions en les àrees rurals o poc densament poblades s'incrementen considerablement, caldria preveure plans específics per a aquestes àrees, en els quals l'indicador d'emissions de GEH tingués un pes específic.

Un altre factor que fa incrementar les emissions reals de GEH sobre les teòriques són els serveis de repàs i manteniment que acostumen a tenir totes les metodologies de recollida.

Els serveis de repàs són serveis extres que cal realitzar per reforçar els circuits, recollir els resi-

dues deixats fora dels contenidors, o les bústies de recollida en la metodologia pneumàtica, o fora d'hores, entre altres causes. Això es posava de manifest en el treball d'avaluació ambiental de la gestió de la recollida dels RSM a Sant Boi del Llobregat (Pérez, 2008) mitjançant el programari *Sistema d'informació i modelització urbana de residus* (SIMUR) i un ampli treball de camp. El programari SIMUR ha estat desenvolupat per l'Agència d'Ecologia Urbana de Barcelona, la qual ha verificat la fiabilitat del programari amb la realització de múltiples projectes, i incorpora indicadors basats en la metodologia ACV, entre altres.

La generació de residus el 2006 a Sant Boi va ser de 39.137 tones. En l'estudi de Pérez (Pérez, 2008) es comptabilitzava amb molt de detall, entre altres coses, tot el consum energètic del sistema de recollida i transport (en aquest cas hi havia un transport entre el centre de transferència de Gavà i l'abocador d'Hostalets de Pierola, on hi anava tota la fracció resta), de manera que es consumien 230.560 litres de dièsel i 6.246 litres de benzina, cosa que equivalia a 281 MJ per tona de residu. El mateix treball posava de manifest que els consums reals de combustible en la fase de recollida urbana eren extremadament alts —en l'estudi variaven entre 2,22 i 3,87 l/km— i amb una eficiència d'entre 3 i 5,13 l/tona de residu, en funció de la tipologia de vehicle, l'antiguitat i el tipus de càrrega (lateral, posterior, amb repàs). Aquests valors són superiors als utilitzats en l'ACV presentat a l'inici d'aquest subapartat (Iriarte *et al.*, 2009) per a àrees densament poblades. El treball de camp de Pérez (Pérez, 2008) evidenciava que, per raons com incidències per obres o cotxes que dificultaven el pas a determinades hores, els conductors dels vehicles de recollida, per exemple, havien d'adaptar el recorregut de la recollida a les condicions del dia, i per tant, molt difícilment realitzaven el camí mínim teòric establert, de tal manera que els recorreguts podien ser del doble i, fins i tot, el triple de quilòmetres.

Aquest estudi sobre Sant Boi, i el realitzat per Eisted (Eisted *et al.*, 2009) a Dinamarca, també evidencien que les emissions més elevades es generen en el transport amb vehicle privat, com ara en el cas català per a dur els residus a les

deixalleries. Eisted (Eisted *et al.*, 2009) per a Dinamarca referencia el treball de l'StatBank Denmark (2008), segons el qual el consum seria d'entre 100 i 300 kg CO₂ eq. per tona de residu per distàncies de 5-10 km i transportant 15 kg de residus en un vehicle privat.

En el treball d'Eisted (Eisted *et al.*, 2009), s'estimava que les emissions de GEH en la recollida i transport dels RSM variaven entre 9,4 i 368 kg CO₂ eq. per tona de residus, segons el mètode de recollida i les distàncies. Aquests mateixos autors proposaven, entre altres coses, considerar el transport per tren i per mar com a alternatives. En el cas del tren les emissions podrien reduir-se entre 4 i 20 vegades respecte als vehicles de gran tonatge i entre 10 i 100 vegades si substituïssim vehicles de baix tonatge (càrrega inferior a 16 t).

En aquest context, les mesures que es proposen per a Catalunya per a reduir les emissions en un futur són les següents:

- Reduir la generació.
- Incorporar plantes de transferència en els casos en què les distàncies siguin relativament grans.
- Apropar les plantes de tractament als punts de generació.
- Dimensionar les plantes de tractament en funció de la generació, i per tant, afavorir la seva distribució, enfront de macroplantes que concentren grans quantitats de residus i obliguen a llargs desplaçaments.
- Integrar les plantes de tractament dins la trama urbana.
- Utilitzar altres mitjans de transport menys contaminants.
- Utilitzar vehicles més eficients i amb combustibles més nets, com el biodièsel procedent de recursos renovables locals o d'altres residus.

Quantificació de les emissions a Catalunya per la runa i els residus ramaders

S'han estimat les emissions de GEH generades en el transport de runa —vegeu les dades de l'apartat corresponent d'aquest capítol— suposant una mitjana de 20 km, i un vehicle de la gamma 16-32 t, EURO V, encara que actualment la flota de vehicles no és tan moderna. A Catalunya, amb les dades del 2007, la runa generava, en ser

transportada, l'emissió d'unes 40.000 - 60.000 tones de CO₂ eq., considerant tot el cicle de vida del combustible. Com que una part del trajecte és en medi urbà, on els consums de combustibles s'incrementen, aquests valors són conservadors.

Pel que fa al transport dels residus ramaders, també s'ha fet l'estimació per a les dades del 2007. Suposant una mitjana de 20 km, i un vehicle tipus tractor, s'emeten unes 80.000—120.000 tones de CO₂ eq., tenint en compte el cicle de vida del combustible. Donada la concentració que hi ha en els punts de generació, aquests valors són molt conservadors i podrien arribar a duplicar-se en la realitat.

El PMMCCC preveu en el Subprograma 1.5 (Reducció d'emissions per la prevenció i el tractament dels residus), l'Acció 1.5.2 (Transport més eficient, tractament més eficient [metanització de la matèria orgànica i aprofitament del biogàs als abocadors]), que inclou:

- Minimitzar el consum energètic i utilitzar energies renovables i més netes en el transport i el tractament de residus.
- Minimitzar les emissions de contaminants atmosfèrics de transport i tractament de residus.

Les oportunitats que ofereixen les mesures de mitigació aplicades al transport són considerables, ja que, tal com s'ha vist, actualment aquestes emissions no són menyspreables. Tenint en compte les anteriors estimacions, es proposen les següents mesures per reduir les emissions en un futur:

- Reduir la generació de residus.
- Incorporar plantes de transferència molt properes als punts de generació en aquells casos en què les distàncies siguin relativament grans.
- Integrar les plantes de tractament als punts de generació.
- Dimensionar les plantes de tractament en funció de la generació, i per tant, afavorir-ne la distribució, enfront de macroplantes que concentren grans quantitats de residus.
- Analitzar la sostenibilitat del transport per canonada.
- Renovar la flota de vehicles i utilitzar mitjans menys contaminants per al transport, basats en el sistema ferroviari.

- Utilitzar vehicles més eficients i amb combustibles més nets com el biodièsel procedent de recursos renovables locals o d'altres residus.
- Analitzar el transport dels residus ramaders cap a plantes de tractament externes per mitjà de canonades, havent considerat els impactes i emissions de construcció i manteniment de tot el sistema, així com l'energia necessària per al transport.

20.3. Compostatge

Definició

El compostatge és un procés biològic aerobi que es pot definir com la descomposició i estabilització biològica de la matèria orgànica, sota unes condicions que permetin l'assoliment de temperatures termòfiles a partir de calor produïda per l'activitat biològica, per produir un producte

final (el compost) estable, lliure de patògens i llavors i que pot ser aplicat beneficiosament al sòl (Haug, 1993). L'assoliment de les temperatures termòfiles és el factor que permet la destrucció dels patògens i de les llavors. El *Working document on sludge 3rd draft* (Comissió Europea, 2000) recomana mantenir temperatures superiors a 55 °C durant 20 dies en els tractaments aerobis convencionals i temperatures superiors als 55 °C durant un mínim de 20 hores en els processos avançats. Per assolir aquestes temperatures es requereixen unes condicions d'humitat i aeració específiques. Durant el procés biològic de compostatge es produeixen com a principals productes del metabolisme diòxid de carboni, aigua i calor residual. Podem classificar les plantes de compostatge en industrials, comunitàries i casolanes.

El procés biològic de compostatge es divideix en dues fases principals (figura 7):

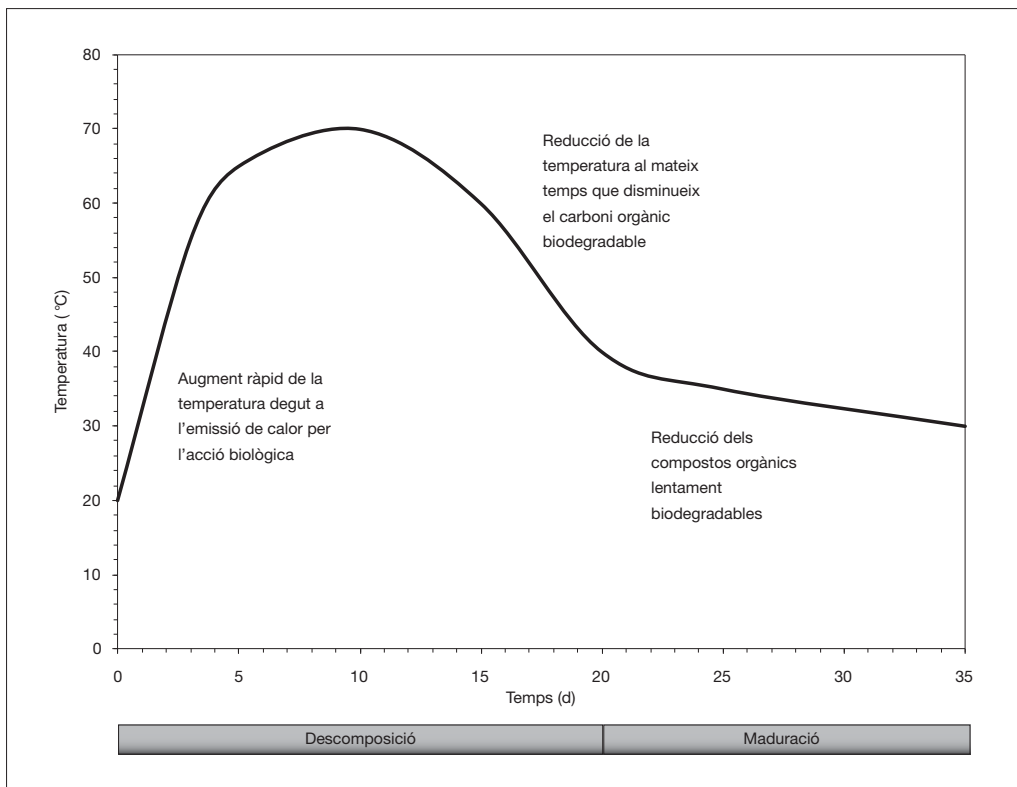


Figura 7. Evolució típica de la temperatura en un procés de compostatge.
Font: adaptat de Tchobanoglous, 1994.

1. Fase de descomposició: caracteritzada per una elevada activitat biològica acompanyada del conseqüent elevat consum d'oxigen i una elevada reducció de compostos orgànics fàcilment biodegradables. En aquesta fase s'assoleixen les temperatures termòfiles (figura 7) que permeten la higienització del material (destrucció de patògens i llavors). Quan es consumeix la matèria orgànica fàcilment biodegradable, es redueix l'activitat dels microorganismes termòfils i baixa la temperatura a llindars mesòfils ($< 45^{\circ}\text{C}$).

2. Fase de maduració: aquesta fase es caracteritza per una degradació lenta de la matèria orgànica, com a conseqüència de la manca de nutrients, i un consum més reduït d'oxigen. La fase de maduració aporta el temps necessari per degradar els compostos més refractaris i altres de fitotòxics. Durant aquesta fase es formen compostos estables d'elevat pes molecular. Al final d'aquesta fase es considera que el producte és estable o madur.

El procés industrial

Per controlar i accelerar el procés de compostatge es poden utilitzar diferents tecnologies, diferenciant sempre les dues fases del procés biològic com a operacions separades que requereixen necessitats tecnològiques específiques. La fase de descomposició es caracteritza per ser més tecnificada, atesa la necessitat d'evitar l'emissió d'olors, aportar l'oxigen necessari i assolir les temperatures desitjades. La fase de maduració està menys tecnificada i controlada, però cal mantenir un cert control del procés per assegurar l'obtenció d'un producte final estable. Es poden establir dos grans grups de tecnologies de compostatge:

1. Procés de compostatge en piles. Es tracta de la primera tecnologia implantada en les primeres plantes de compostatge. S'aplica generalment en zones en què hi hagi disponibilitat d'espai i en plantes de capacitat petita o mitjana (1.000-40.000 t de residu/any) (Artola *et al.*, 2009). Consisteix en la formació de piles generalment de secció trapezoïdal. S'utilitzen tant per a la fase de descomposició com per a la de maduració. Per a garantir el procés cal voltejar les piles de forma mecànica (piles dinàmiques) o bé

utilitzar aeració forçada (piles estàtiques). La utilització de piles estàtiques, que no tenen limitacions mecàniques, permet la formació de piles de dimensions més grans, mentre que en les piles dinàmiques la grandària ve determinada per la maquinària utilitzada per al volteig. De manera general, la fase de maduració es desenvolupa amb aquest tipus de tecnologia.

2. Procés de compostatge en túnel. És una tecnologia més tecnificada que l'anterior, que permet intensificar el procés i tractar més quantitat de residus en un espai més reduït. Aquesta tecnologia s'aplica generalment en zones amb elevada densitat de població i permet el tractament de 10.000 a 100.000 t de residu/any. En aquest cas el material es manté durant unes quantes setmanes en un espai tancat (túnel) en el qual es subministra aire de manera forçada. Com que no és necessària la intervenció mecànica (volteig) durant el procés, els sistemes en túnel permeten una monitorització més exhaustiva del procés (temperatura, oxigen...). El procés de compostatge en túnel s'utilitza per a la fase de descomposició, seguida de la maduració en piles.

Les instal·lacions de tractament de residus requereixen, però, una fase prèvia de preparació del material (preprocessament) i una fase final de postprocessament del compost. Són operacions de caire mecànic, principalment destinades a eliminar matèria no orgànica del residu que es composta i a adequar el residu (pel que fa a humitat i porositat) per garantir que el procés de compostatge sigui correcte. El grau de tecnificació d'aquestes fases depèn en gran mesura del contingut en impropis.

En el cas, per exemple, de la fracció orgànica de residus municipals (FORM), tot i procedir de sistemes de recollida selectiva, conté encara un cert percentatge de material no biodegradable o impropis (plàstics, vidres, metalls...) que s'han d'eliminar al llarg del procés per obtenir finalment un compost que pugui aplicar-se de manera beneficiosa per al sòl. El percentatge d'impropis a la FORM de Catalunya, com a mitjana aritmètica, és del 14,2% (PROGREMIC 2007-2012). Un cop reduït el percentatge d'impropis, s'hi afegeix fracció vegetal, que permet regular la humitat i la porositat de la mescla (facilita la

transferència i la circulació de l'oxigen). Aquesta etapa del procés es coneix com a *condicionament*. En el cas d'altres residus, com els fangs de depuradora, només serà necessària l'etapa de condicionament.

Després de la fase de maduració, cal retirar per mitjans mecànics les restes vegetals afegides inicialment i les restes d'impropis que encara puguin quedar en una etapa que es coneix com a *afi*. El producte final obtingut, si compleix els requisits de qualitat, correspondrà al compost.

Cal tenir en compte que la complexitat del procés (tant el pretractament com el posttractament) dependrà de la qualitat de la FORM d'entrada, és a dir, del percentatge d'impropis que tingui. Álvarez (Álvarez *et al.*, 2008) va estudiar el percentatge d'impropis en 193 municipis de Catalunya. En aquest estudi els investigadors determinaren que el percentatge d'impropis a la FORM era del 22% (davant del 14,2% del PROGEMIC 2007-2012) i ressaltaven l'important impacte que aquest fet té sobre els sistemes de valorització de la FORM. Es detectava una diferència en el percentatge d'impropis entre aquells municipis que utilitzaven sistemes de recollida porta a porta i els municipis que utilitzaven sistemes de recollida mitjançant contenidors. Els municipis amb un sistema de recollida porta a porta presentaven clarament una FORM amb una menor quantitat d'impropis, fet que indica la importància del sistema de recollida en relació amb la qualitat de la FORM. Concretament, aproximadament un 65% dels municipis amb recollida porta a porta presentava una FORM amb un percentatge d'impropis inferior al 10%, mentre que el 70% dels municipis amb sistema de recollida amb contenidors presentava un percentatge d'impropis superior al 15%.

La situació del compostatge a Catalunya

Actualment a Catalunya hi ha 25 instal·lacions de compostatge autoritzades per al tractament de residus industrials, de les quals 23 tracten la fracció orgànica dels residus municipals (amb una capacitat de 494.871 t/any) i 5 instal·lacions per al tractament de fangs d'EDAR urbana (amb una capacitat de 74.000 t/any), dues de les quals també tracten FORM (PROGEMIC (2007-2012), ARC, ACA 2008).

De cara als propers anys, el PROGEMIC 2007-2012 preveu la intensificació en l'estudi de les plantes de compostatge per a avaluar els costos econòmics i establir un sistema de qualitat del producte de sortida.

A més del compostatge a escala industrial, el PROGEMIC 2007-2012 preveu actuacions per fomentar el compostatge casolà i el compostatge comunitari. Es tracta de processos de compostatge a petita escala i amb una baixa tecnificació, però que presenten determinats avantatges, com són:

- Reducció de les necessitats de transport.
- Apropament del cicle «recurs-residu-recurs» al mateix generador del residu.
- Vinculació del compostatge al metabolisme urbà, incorporant el compost als horts urbans i escolars.
- Quantificació de les emissions a Catalunya.

Les emissions generades durant el procés de compostatge, tant en l'industrial com en el casolà o el comunitari, correspondran bàsicament a:

- Emissions del mateix procés de compostatge, com són CO_2 , N_2O i compostos orgànics volàtils (COV). Tot i tractar-se d'un procés aerobi, es creen en l'interior del material zones anaeròbies, fet pel qual, al llarg del procés de compostatge, també s'emeten certes quantitats de CH_4 .
- Emissions de CO_2 degudes al consum energètic (electricitat o gasoil) per dur a terme el procés (aeració, operacions mecàniques de volteig, preprocessament i postprocessament).

En ambdós casos, les emissions depenen tant de la tecnologia utilitzada com del grau d'impropis que presenta la FORM, ja que, a menor grau d'impropis, menors necessitats de preprocessament i, per tant, menor consum energètic. Evidentment també té un efecte important sobre els consums i les emissions el tipus de residu que s'està tractant. Les característiques de la FORM depenen de la dieta de la població i, per tant, del país en el qual es genera i de la seva aportació en els punts de recollida, dels criteris de les entitats municipals (amb residus derivats de carn i peix,

o no), entre altres. És per aquest motiu que, en les dades que s'aportaran a continuació, es remarca el fet que els estudis s'han dut a terme en instal·lacions de Catalunya.

Pel que fa a les emissions degudes al mateix procés biològic de compostatge en plantes industrials, les emissions de CO₂, a efectes de comptabilitat de GEH, no es tenen en compte perquè són d'origen biogènic (IPCC, 2006). Tot i això, es pot calcular que s'emeten uns 340 kg CO₂ biogènic per cada tona de FORM composta. Sí que es comptabilitzen, però, les emissions de N₂O i les de CH₄ generades durant el procés biològic. En aquest cas es poden aportar dades d'un estudi dut a terme en una planta de compostatge de Catalunya en el qual s'han analitzat les emissions d'aquests gasos. Es tracta d'una instal·lació tecnificada, de compostatge amb túnels, i que compta amb sistema de tractament de les emissions. Els resultats indiquen unes emissions de N₂O de 92 g/t FORM i de CH₄ de 34 g/t de FORM. Altres autors, en estudis duts a terme en instal·lacions i residus de fora de Catalunya, reporten emissions entre 120-180 g de N₂O/t FORM i de 880 a 1800 g CH₄/t FORM (Amlinger *et al.*, 2008).

La taula 2 mostra el consum energètic i les emissions de CO₂ degudes a aquest consum, d'acord amb els estudis publicats sobre això i duts a terme en instal·lacions de compostatge de FORM de Catalunya (Cadena *et al.*, 2009a, Cadena *et al.*, 2009b, i Artola *et al.*, 2009). Aquests estudis s'ha centrat en el procés de tractament, deixant fora del sistema els transports de residus cap a la planta i de la planta a l'abocador o als punts de reciclatge. Tampoc no s'ha tingut en compte en aquests treballs la construcció de la instal·lació de tractament ni la fabricació dels equips utilitzats.

Mitjançant la utilització de l'ACV es compara el compostatge industrial de FORM amb el com-

postatge casolà (dut a terme seguint les recomanacions de les diferents organitzacions catalanes que promouen l'autocompostatge) (Colón *et al.*, 2009). En aquest estudi s'han mesurat les emissions de N₂O i de CH₄ que s'emeten durant el procés de compostatge casolà. Els resultats obtinguts indiquen que s'emeten 676 g de N₂O, i 158 g de CH₄ per cada tona de FORM que s'autocomposta. Tot i que durant el procés de compostatge industrial el consum energètic és molt més elevat que en el compostatge casolà, les emissions de N₂O i CH₄ són molt superiors en el compostatge casolà que en el compostatge industrial, i això significa que, en l'aspecte referent a l'impacte sobre el canvi climàtic, el compostatge casolà duplica la contribució que hi fa el compostatge industrial (sota les condicions de l'esmentat estudi). En aquest sentit, el compostatge casolà seria més beneficiós en aquells casos en què la distància a una planta de compostatge industrial o la utilització de vehicles inadequats o obsolets utilitzats en la recollida representessin un increment significatiu en l'emissió de GEH. Per tant, el compostatge casolà és més adequat en zones de baixa densitat i nuclis o població aïllada. Evidentment, el compostatge casolà ofereix millors resultats que l'opció de deposició directa a l'abocador.

En aquest apartat les accions de mitigació que es proposen són les següents:

- Millora de la tecnologia de filtre d'emissions de gasos en les plantes de compostatge.
- Minimització del consum d'energia en les plantes industrials.
- Millora de la logística de la recollida de la FORM.
- Bones pràctiques en el compostatge casolà.

20.4. Digestió anaeròbia

Definició

En els processos biològics de degradació de la matèria orgànica per via anaeròbia, es transforma la major part de la càrrega orgànica contaminant en CH₄ i CO₂ (biogàs), i només una petita part en llots. Aquest procés necessita un ambient reductor, lliure d'oxigen i d'altres oxidants forts. Un dels avantatges d'aquests processos

Consum d'electricitat	30-340 MJ/t FORM
Consum de dièsel	3,5-9 l/t FORM
Consum energètic total	235-480 MJ/t FORM
Emissions associades de CO ₂	20-60 kg CO ₂ /t FORM

Taula 2. Consum d'energia i emissions de CO₂ associades en instal·lacions de compostatge de FORM a Catalunya per tona tractada.

consisteix en la utilització del biogàs generat com a font d'energia (PICS).

El procés industrial

Les plantes de digestió anaeròbia es poden classificar en funció de la temperatura a què es duu a terme el procés i del contingut en matèria sòlida del residu que es tracta. Així, podem parlar de:

- Processos mesòfils, quan la temperatura de procés és al voltant dels 37 °C.
- Processos termòfils, quan la temperatura de procés és al voltant dels 55 °C.
- Processos en via seca, quan el contingut en sòlids es troba entre el 15% i el 40%.
- Processos en via humida, quan el contingut en sòlids és inferior al 15%.

Les plantes de digestió anaeròbia de FORM generalment compten amb una etapa de triatge, que pot ser més o menys complexa en funció de la capacitat de la instal·lació. Així, les instal·lacions més grans compten amb triatge manual i automatitzat, mentre que les instal·lacions més petites només tenen triatge automatitzat. A continuació es prepara la fracció orgànica per a la digestió anaeròbia, afegint-hi aigua i amb un procés de polpeig, en el cas dels processos en via humida.

La composició i la capacitat calorífica del biogàs obtingut en la digestió anaeròbia de residus municipals es presenta a la taula 3.

Energia	20-25 MJ/m ³
CH ₄	60-80 % vol.
CO ₂	30-45 % vol.
H ₂ S	200-400 ppm

Taula 3. Característiques del biogàs obtingut en la digestió anaeròbia de RSU.

Font: Braber, 1995; Van der Zee et al., 2007.

S'estima que entre un 20% i un 40% de l'energia produïda a partir del biogàs es consumeix en la mateixa instal·lació, en els diferents processos de pretractament mecànic, mescla, manteniment de la temperatura del digestor, etc. (Braver, 1995). El resultat és una producció neta d'energia que oscil·la entre 100 i 150 kWh per tona de fracció orgànica tractada.

La situació de la digestió anaeròbia a Catalunya

Actualment, en el camp dels residus, la digestió anaeròbia la podem trobar associada al sector ramader, en el tractament de fangs de depuradora, en els abocadors, el tractament de residus municipals, especialment FORM, i en el tractament d'aigües residuals.

Es en el sector de la FORM on en els darrers anys s'ha donat un creixement més important del volum de residus tractats. Concretament, a Catalunya, l'any 2002 es van tractar 35.000 t de FORM per digestió anaeròbia. A llarg termini, el PROGEMIC 2007-2012 preveu una capacitat de tractament de 263.000 t de FORM per a l'any 2012. A banda, també es preveu una capacitat de tractament de 1.230.000 t de resta en plantes de tractament mecànic biològic que incorporen digestió anaeròbia.

En el cas del tractament de fangs de depuradora, la digestió anaeròbia s'associa a una deshidratació tèrmica posterior del fang digerit. Així, a Catalunya hi ha 8 instal·lacions d'assecatge tèrmic amb cogeneració amb una capacitat total de tractament de 300.000 t/any, aproximadament.

La producció d'energia bruta procedent de la metanització de residus a Catalunya l'any 2007 va representar el 0,5% del total produït (42.732,7 GWh).

Quantificació de les emissions a Catalunya

La digestió anaeròbia de residus és una via de tractament dels residus que en redueix el volum, i per tant en facilita la gestió final. Però el procés de tractament permet al mateix temps la valorització energètica del biogàs. Aquest fet fa que aquella energia que es produeix a partir del biogàs no hagi de ser generada per altres fonts. Tenint en compte que el CO₂ emès per a obtenir electricitat a partir del biogàs és considerat neutre, val la pena considerar quines emissions de CO₂ s'eviten en aquest procés.

A la taula 4 es presenta el balanç d'una instal·lació de digestió anaeròbia de FORM de Catalunya (Cadena 2009). Segons aquest estudi, basat en l'ACV, per cada tona de FORM tractada mitjançant digestió anaeròbia, s'estalvia l'emissió de 57 kg de CO₂. En aquest estudi només s'ha tingut en compte el procés de tractament propi

Dades per tona de FORM	kWh/t	kg CO ₂ /t
Consum elèctric	166	24
Electricitat generada i consumida a la mateixa instal·lació	167	0
Electricitat generada i venuda a la xarxa elèctrica	-550	-81
Balanç	-217	-57

Taula 4. Electricitat i balanç de CO₂ en una instal·lació de tractament per metanització de la FORM a Catalunya.

de la instal·lació i s'han exclòs del sistema la construcció de la planta i els transports de la FORM i dels residus generats.

20.5. Abocadors

Definició

Els dipòsits controlats, o abocadors, són instal·lacions industrials dissenyades per a la recepció de residus, que queden finalment ubicats i controlats a l'interior d'aquestes instal·lacions. La directiva europea els defineix com un emplaçament (en la superfície o subterrani) d'eliminació de residus que es destini al dipòsit dels residus. Perquè aquestes instal·lacions funcionin correctament, han de complir unes normes tècniques relacionades amb els residus que poden rebre.

El procés industrial

A l'abocador, la matèria orgànica que no ha estat prèviament estabilitzada sofreix una descomposició anaeròbia que genera biogàs (constituït principalment per metà i diòxid de carboni) i un llixiviats. Aquesta descomposició és lenta i pot durar dècades; és per això que en l'explotació de l'abocador cal preveure un període suficientment llarg posterior a la clausura de la instal·lació, en què continua la gestió dels residus. La velocitat de descomposició i l'emissió dels gasos varia en funció de la profunditat i del període d'explotació. Com que són instal·lacions industrials adequades, els abocadors actuals compten amb un xarxa de recollida dels llixiviats, i una altra de captació del biogàs generat. El biogàs captat o bé es crema en una torxa, o bé es transforma en energia. Per tant, la part de biogàs captat ja no emet metà sinó que de la combustió s'obté altra vegada CO₂ neutre.

Tal com s'ha indicat en aquest mateix capítol, la deposició final en abocadors controlats és el tractament majoritari que reben els RSM, i també

una part dels industrials i els secundaris. Ja s'ha evidenciat en els darrers anys que disminueixen els residus que van directament a l'abocador, però al mateix temps s'incrementen els residus secundaris que s'hi aporten. Això és conseqüència de l'aplicació de la directiva europea sobre abocadors, i també de la implantació de noves tècniques i metodologies de valorització de residus.

En el PICS s'explicava com es podien estimar les emissions de GEH generades en els abocadors, i l'aplicació de dues metodologies concretes: el mètode triangular presentat per Tchobanoglous (Tchobanoglous, 1994), i el model LandGEM de l'EPA dels EUA. En tots dos casos es considerava una cinètica de degradació de primer ordre i es distingia entre diferents períodes de degradació en funció de la tipologia de residus, i s'aplicaven al conjunt de Catalunya. Es prenia només un històric des de l'any 1993, i s'advertia que es consideraven significatius, per tant, només els valors estimats a partir de l'any 2000. La Guia de l'IPCC 2006 (IPCC, 2006) es decanta clarament per la metodologia de descomposició de primer ordre; per tant, les estimacions i conclusions del PICS continuen sent vàlides. Cal tenir en compte que la digestió de la matèria orgànica genera el biogàs, però que una petita part d'aquest biogàs s'oxida en la part de la coberta de l'abocador. Aquest percentatge no contribueix a l'efecte hivernacle i cal descomptar-lo; per tant, no tot el biogàs generat es podrà recuperar. Si el gas recuperat s'utilitza per a generar energia, les emissions resultants de GEH s'haurien de tenir en compte en el sector energètic (IPCC, 2006). Malgrat això, les emissions procedents de la crema en torxa són insignificants, ja que el CO₂ és d'origen biogènic i les emissions de CH₄ i N₂O són molt petites. Més important és l'eficàcia de recollida del biogàs en els abocadors; la Guia de l'IPCC (IPCC, 2006)

assenyala que una estimació de recuperació per defecte seria del 20%. En general, segons la mateixa guia, eficiències elevades de recuperació estarien relacionades amb abocadors tancats amb fluxos de gasos reduïts, recollida ben dissenyada i operada, així com cobertes més gruixudes i menys permeables. Les eficiències baixes estarien relacionades amb el període de la fase d'exploració, i amb cobertes, per exemple, arenoses.

Quantificació de les emissions generades pels RSM en l'escenari 2008 i l'escenari de transició 2012

En aquest apartat es comparen dos escenaris: l'actual, anomenat 2008, i el que ens podem trobar en un futur proper, anomenat 2012. El primer escenari (2008) reflecteix la situació actual en la qual una part de la matèria orgànica continguda en els impropis és dipositada en els abocadors sense estabilització aeròbia prèvia. En el segon escenari (2012) s'analitza la situació en què s'aplica un tractament previ d'estabilització biològica aeròbia en els impropis procedents de les plantes de tractament de residus que posteriorment són destinats a l'abocador. Aquest segon escenari podria ser l'escenari de transició durant els propers anys: els residus que van directament a l'abocador disminueixen perquè passen a ser tractats en altres plantes, aquestes plantes generen una gran quantitat d'impropis, i cal valorar si convé o no preestabilitzar per via aeròbia aquests impropis, abans de dipositar-los en els abocadors, per minimitzar l'emissió de GEH. El segon escenari incrementa la complexitat en la gestió dels residus, ja que afegeix un altre tractament per als impropis, però a la vegada significa una reducció del volum que anirà a l'abocador, i una disminució del carboni orgànic que s'hi diposita, que està directament relacionada amb les posteriors emissions de metà. En aquest escenari 2012 es considerarà només el flux de matèria orgànica ràpidament biodegradable (MORD), ja que és molt improbable que aquests tractaments tinguin cap efecte sobre la matèria orgànica lentament biodegradable (MOLD); és un tractament que s'aplicarà als residus secundaris, la fracció d'impropis, l'objectiu del qual no és un producte valoritzat, sinó l'obtenció d'un residu preestabilitzat que millori el seu comportament quan sigui depositat en un abocador.

Descripció dels escenaris:

- **Escenari 2008.** Situació actual sense estabilització aeròbia:
 - El 60% de la fracció resta va directament a l'abocador; un 25% és de MORD;
 - El 20% de la fracció resta va a planta de tractament de la fracció resta, de la qual el 75% són impropis que contenen el 25% de MORD que va a l'abocador.
 - El 20% restant de la fracció resta va a incineració (en realitat, el 2008 aquest percentatge va ser del 22%, però aquesta variació no altera les conclusions de l'apartat, ja que aquesta fracció a incinerar roman constant i no es considerarà).
 - El 100% de la MO recollida selectivament és valoritzada en plantes de tractament de la FORM, de les quals el 32% són impropis que contenen el 44% de MORD que es destina a l'abocador.
- **Escenari 2012.** Escenari de transició, amb preestabilització aeròbia dels impropis, abans de ser dipositats en els abocadors:
 - El 80% de la fracció resta va a una planta de tractament de la fracció resta, de la qual el 75% són impropis que contenen el 25% de MORD que anirà a l'abocador. Aquests impropis rebran un nou tractament de preestabilització abans d'anar a l'abocador.
 - El 20% restant de la fracció resta va a incineració.
 - El 100% de la MO recollida selectivament és valoritzada en plantes de tractament de la FORM, de les quals el 32% són impropis que contenen el 44% de MORD que es destina a l'abocador.

S'hi inclouen les noves previsions del PROGEMIC 2007-2012: es dobla el percentatge de recollida selectiva, és a dir, el 24% de la MO es recollirà selectivament; hi ha una reducció de la fracció resta, mentre que la quantitat de residus municipals totals passaria de 4,3 milions de tones a 4,6 milions de tones el 2012.

Els diagrames de flux màssic d'aquests dos escenaris es presenten a la figura 8.

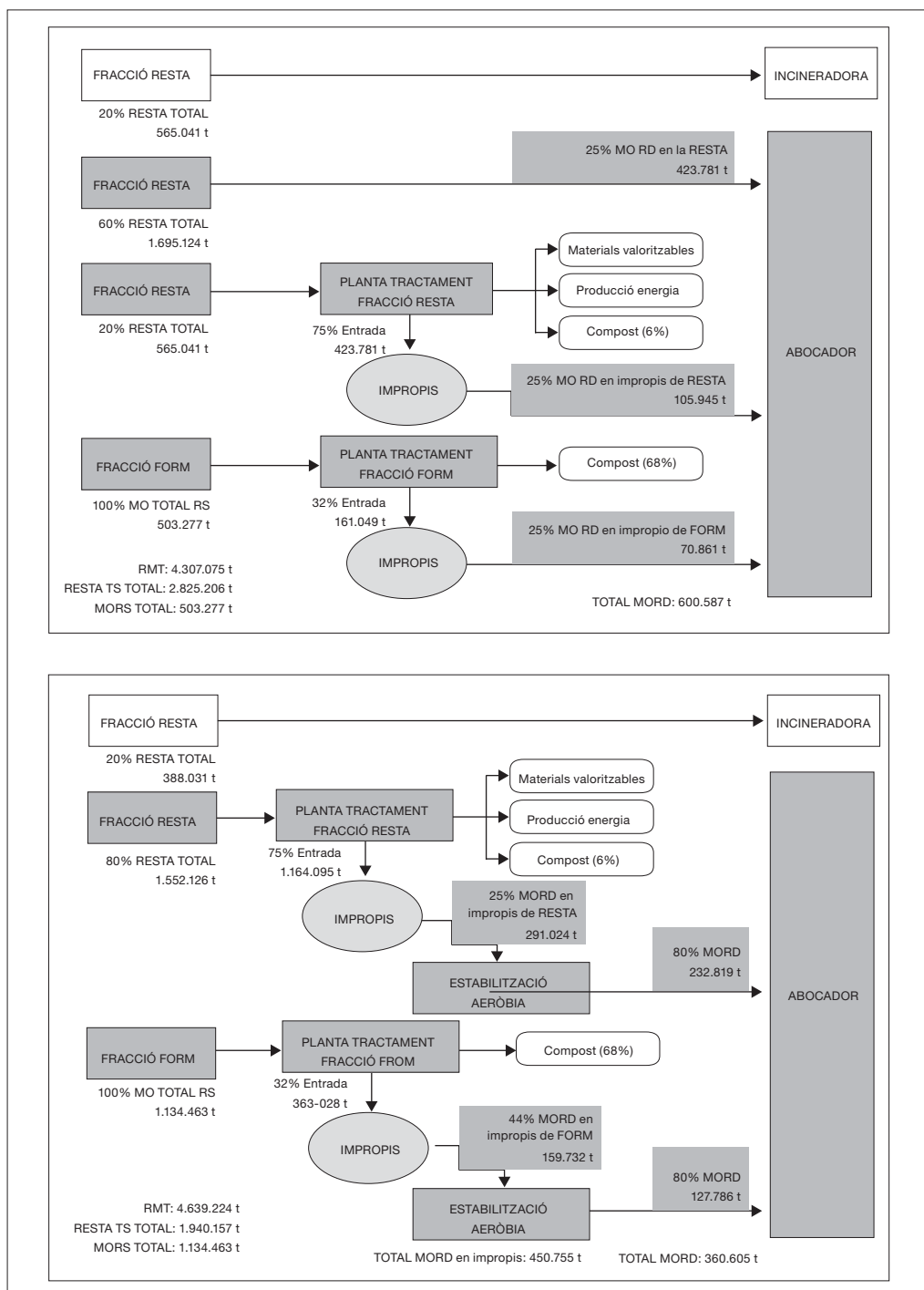


Figura 8. Diagrames de flux massic de l'escenari 2008, a la part superior de la figura, i de l'escenari transició 2012, a la part inferior de la figura, que inclou la preestabilització de la MO RD abans de disposar-la en l'abocador.
Font: Adaptat de Mercia, 2009.

Per a l'estimació dels fluxos massics s'han considerat dades reals de Catalunya, en alguns casos obtingudes a partir de treballs previs, tal com s'assenyala a continuació:

El percentatge de MORD que conté la fracció resta s'estima a partir de les caracteritzacions del PMGRM 2004-2006; així, el 5,9% és fracció vegetal i el 25%, MORD.

El percentatge d'impropis de les plantes de tractament de la fracció resta s'estima a partir de les dades d'entrades i sortides de l'Ecoparc-2 durant els anys 2006 i 2007.

El percentatge d'impropis de la planta de tractament de la FORM i el seu contingut en MORD s'han obtingut experimentalment a partir de les dades (Garcia, 2009) d'una planta de tractament de la FORM per mitjà de digestió anaeròbia i compostatge.

El comportament de la MORD després de la seva preestabilització s'obtingué a partir dels treballs previs (Garcia, 2009). Segons aquests treballs, 1 tona de FORM, amb el 32% d'impropis, dels quals el 44% era MORD, després de ser preestabilitzada per via aeròbia, produeix una quantitat de biogàs 10 vegades menor que si no hagués estat preestabilitzada (taula 5). Els assajos a escala de laboratori de digestió anaeròbia comptabilitzaven els gasos generats durant 100 dies.

En l'escenari 2012, la MORD, en preestabilitzar-se, perdrà el 20% de la massa de la MO.

Aquests dos escenaris, que es consideren extrems, permeten estimar la producció de biogàs

per cadascun d'ells, per a proposar mesures i analitzar si és adequada o no l'estratègia proposada. Les dades de biogàs no són directament comparables amb les dades de CO₂ eq. ni del PICS, ni de l'Inventari de Catalunya segons la metodologia IPCC, ja que no s'ha tingut en compte la velocitat de degradació; tal com s'ha esmentat anteriorment, aquest biogàs s'alliberaria al llarg dels anys. En canvi, sí que són comparables tant els percentatges de reducció de biogàs, com l'aplicació del mateix percentatge a la reducció en l'emissió de GEH.

L'escenari 2012 es basa en la realitat local (els rendiments en les plantes són realistes i parteixen dels actuals), es pot adaptar a les característiques de tot el territori, depèn d'una tecnologia ja coneguda i adaptada a Catalunya, i les inversions servirien per a escenaris de futur.

En l'escenari 2008 la producció de biogàs de la MORD (total o absoluta) seria de 155.723 tones, mentre que en l'escenari 2012 només seria de 9.788 tones. Per tant, hi hauria una reducció del 94% en la producció de biogàs, que significa el mateix percentatge de reducció pel que fa a l'emissió de GEH. La preestabilització dels impropis pot reduir les seves emissions generades en els abocadors fins el 94% a mitjà termini. A curt termini, aquesta reducció seria inferior, al voltant del 10% anual acumulatiu, ja que les emissions reals són conseqüència també dels residus dipositats en els anys anteriors.

En valorar els resultats d'aquests dos escenaris cal considerar dos factors concurrents:

MORD, directo a Vertedero	Prod. Total de Biogás SIN EA ₂ DE MORD	Biogás			
		CH ₄		CO ₂	
(t)	(Kg)	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)
0,14	36,3	12	33	24,2	67
MORD a EA ₁	Prod. Total de Biogás SIN EA ₁ DE MORD	Biogás			
		CH ₄		CO ₂	
(t)	(Kg)	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)
0,14	3,8	1,3	34	2,5	66

Taula 5. Producció de biogàs a partir de la MORD sense estabilització prèvia quan aniria directament a l'abocador, a la primera fila de dades, i amb estabilització prèvia (EA), a la segona fila de dades (Garcia, 2009). Les dades de producció de biogàs, en kg, en la segona columna, fan referència a les 0,14 tones (primera columna), que és la massa del 44 % de la MORD continguda en el 32 % dels impropis procedents d'1 tona de la FORM. La producció de biogàs, així com la seva composició, s'han determinat a partir d'assajos en laboratori.

Font: Garcia, 2009.

- La MORD en els impropis per a l'any 2012 serà només de 450.756 tones, és a dir, menor que la de l'escenari 2008, que era de 600.587 tones.
- Es preestabilitzarà la MORD dels impropis.

Clarament podem veure que el factor dominant és el segon, la preestabilització de la MORD dels impropis. El primer dels factors significa reduir la fracció resta i incrementar la recollida separada de la matèria orgànica, mantenint els comportaments actuals (en la qualitat de la separació en origen de la MO) i els funcionaments de les plantes tant de tractament de la fracció resta com de la FORM, i només explicaria una reducció en el 25% de la producció de metà en els abocadors. La mesura que representarà una millora substancial serà la preestabilització de les fraccions d'impropis. De tota manera, no és pot menysvalorar el primer dels factors a mitjà termini. A mesura que la recollida selectiva de la MO es vagi consolidant, també s'aniran consolidant les *bones pràctiques* ciutadanes, i la qualitat de la MO que arribarà a les plantes serà millor, de manera que els impropis disminuiran. Una disminució dels impropis (millor separació de la MO en origen) i una disminució de la fracció resta (generalització de la recollida selectiva de la MO a tot el territori), es podria assolir a mitjà termini. Llavors, en aquestes condicions, algunes de les plantes de preestabilització podrien adaptar-se fàcilment a plantes d'estabilització, de manera que la reducció en les emissions encara seria lleugerament superior. Per això, s'ha anomenat l'escenari 2012 *escenari de transició*, ja que no hauria de ser la situació final, sinó un pas intermedi fins a arribar a una situació basada en la reducció en la generació, en la qual la MO és separada en origen i sotmesa a valorització material. A mesura que les emissions en planta disminueixin, les emissions en el transport incrementaran el seu pes relatiu.

Valoració de les alternatives

L'any 2005 les emissions generades en els abocadors (PMMCCC) eren de 1,7 Mt CO₂ equivalents, procedents de RSM, residus secundaris i industrials. Els actuals abocadors compten amb sistemes de recollida —captació— de biogàs, encara que, tal com ja s'ha esmentat, l'eficàcia de

captació pot variar, i podem considerar-la al voltant del 35%. En l'escenari 2012, si el model de gestió no variés, probablement l'eficàcia de captació no seria la mateixa, i hi hauria més dificultat per a fer-ne un aprofitament energètic, ja que la concentració i el flux serien lleugerament inferiors; fins i tot, en aquestes circumstàncies, la preestabilització faria disminuir a mitjà termini les emissions de GEH.

Des del punt de vista de l'abocador, la preestabilització dels impropis serà avantatjosa a menys que l'eficàcia de captació sigui molt desigual entre les dues opcions. Per altra banda, caldria també comptabilitzar les emissions generades en tot el cicle de vida, i en aquest cas caldria afegir, en el segon escenari, les emissions causades pel consum d'energia (explicades anteriorment) en la preestabilització. Fins i tot així, i tenint en compte que els valors variarien d'un abocador a un altre (disseny, operació, permeabilitat...) la preestabilització seria molt avantatjosa en la majoria dels casos. En l'escenari de preestabilització no es considera el transport com un factor que hagués de fer incrementar o reduir les emissions respecte a l'escenari 2008, ja que tot dependria de l'emplaçament d'aquestes noves plantes. A partir dels resultats mostrats és proposada com a acció de mitigació la preestabilització de la matèria orgànica ràpidament biodegradable que contenen els residus secundaris.

Cal tenir en compte, a més, que actualment existeixen abocadors comarcals amb plantes de compostatge adjacents. En altres casos, podria ser interessant la preestabilització prop de la generació, ja que representa també una petita reducció en volum. Aquest model de transició, per tant, es basaria en unes plantes disperses i adaptades quant a capacitat a les necessitats del territori, i que s'anirien adaptant en el temps.

Residus industrials

Barba (2006) realitzà el seu treball de màster en l'*Estudi predictiu sobre la producció de biogàs a l'abocador de Coll Cardús*. Aquest és un dels abocadors més importants de Catalunya en funcionament i que fa aprofitament del biogàs per obtenir-ne energia elèctrica. Accepta RSM (52%) i residus industrials assimilables a RSM (33%), i també fangs (15%) (Barba i Antia, 2006).

L'estudi es basava en les dades d'entrada de residus en aquest abocador durant el període 1994-2004. A partir de les dades, i tenint en compte les referències de Tchobanoglous (Tchobanoglous, 1994), deduïa una composició típica dels residus industrials que podrien haver entrat a l'abocador. Segons les seves estimacions, la composició dels residus industrials seria la següent: 43%, materials inerts; 32%, materials lentament biodegradables, i 25%, materials ràpidament biodegradables. De la categoria de residus industrials se n'haurien segregat, en el seu treball, els residus amb elevada càrrega orgànica i els residus de fustes i embalatges. La dada a destacar seria l'aportació estimada dels residus industrials a la producció de biogàs, que si bé inicialment no seria tan important com la dels RSM, al cap de 10 anys la superaria, i l'acumulada després de 20 anys ja seria superior, en el citat abocador. Encara que, en comparar les dades teòriques segons el seu model amb les reals de captació, les dades no coincideixin, sí que marquen unes tendències clares. Els residus industrials dipositats en els abocadors també aporten emissions de GEH en quantitats importants. Per tant, aquests mal anomenats residus industrials assimilables a urbans requeririen també una atenció especial si es volguessin reduir en el futur les emissions de GEH procedents dels abocadors. Les mesures que es prenguin a curt termini tindran efectes a mitjà i a llarg termini, ja que la seva corba de generació de biogàs es troba desplaçada en el temps uns 10 anys (pel predomini de les fraccions lentament biodegradables).

En aquest sentit, per reduir les emissions de GEH procedents d'aquests residus industrials caldria implantar models de recollida selectiva i segregada també per a aquestes fraccions de residus industrials assimilables a urbans i evitar-ne la gestió directa en abocadors. Això significaria un canvi de tendència, ja que actualment encara hi ha molts residus classificats segons el CER amb el codi 200301 *Altres residus municipals*. *Mescles de residus municipals* i el codi 200199 *Fraccions recollides de manera selectiva (excepte les especificades en el subcapítol 15 01)*. *Altres fraccions no especificades en cap altra categoria*, que haurien de millorar la seva classificació, i utilitzar els codis específics, ja existents en el mateix CER.

Altres mesures de mitigació global

Evidentment, la principal mesura per a reduir les emissions de GEH és reduir la quantitat de residus generats, i així segur que es reduirà la quantitat de residus que acaben anant a l'abocador.

Per altra banda, actualment ja s'estan desenvolupant a escala experimental algunes tecnologies de segrest del CO₂. Les instal·lacions amb elevada producció de biogàs, com abocadors i digestors anaerobis, són les més apropiades. En tals casos, es produiria el biogàs; aquest biogàs es recolliria, amb una eficàcia variable (100% per a instal·lacions de digestió anaeròbia, 35% per a abocadors); s'aprofitaria energèticament per a obtenir calor i electricitat; i les emissions de CO₂ del procés de combustió serien les absorbides o capturades per quedar segrestades, en funció de la tecnologia que s'acabi implantant. A mesura que augmenta la complexitat del procés global es fa més necessari aplicar metodologies que tinguin en compte tot el cicle de vida i, per tant, considerin també la despesa energètica del procés global, així com les emissions globals, i no solament les de l'abocador. El procés serà tan avantatjós com ho sigui l'eficàcia de recollida del biogàs.

El PMMCCC, dins el subprograma 1.5 de reducció d'emissions per la prevenció i el tractament dels residus, incorpora, entre altres, les següents accions:

- Acció 1.5.1 Prevenció de la generació de residus.
- Acció 1.5.2 Transport més eficient, tractament més eficient (metanització de la matèria orgànica i aprofitament del biogàs als abocadors).
- Minimitzar el consum energètic i utilitzar energies renovables i més netes en el transport i el tractament de residus.
- Recuperar l'energia continguda en els residus com a cua de la gestió (valorització energètica) o a partir de processos de metanització de la FORM o aprofitament del biogàs dels abocadors.
- Minimitzar les emissions de contaminants atmosfèrics de transport i tractament de residus.

En l'escenari de transició 2012 anteriorment analitzat s'han incorporat les anteriors accions —reducció de la generació, i aprofitament del biogàs

dels abocadors—, i a més s'incorpora la preestabilització biològica. EL PMMCCC preveu per al sector dels residus una reducció total d'emissions de 0,325 Mt CO₂eq./any. L'escenari de transició 2012 aplicat als RSM permetria assolir per si sol aquestes reduccions en només dos anys una vegada implantat, encara que les principals reduccions serien a mitjà termini.

Un altre possible escenari consistiria a fer una valorització energètica de la fracció d'impropis procedent de les plantes de tractament, en lloc de dur-la directament a l'abocador (escenari 2008), o en lloc de fer-hi una preestabilització biològica (escenari 2012). Aquest escenari global no s'ha considerat, ja que es valora que la seva capacitat d'adaptació a mitjà termini és molt limitada. A mesura que la reducció i la valorització material anés millorant (opcions prioritzades per la política europea, enfront de la valorització energètica), les instal·lacions passarien a quedar obsoletes o en baix ús.

20.6. Aigües residuals

Les aigües residuals representen la fracció líquida dels residus procedents de residències, comerços, indústries i instal·lacions públiques, entre altres procedències, a les quals es poden afegir, en un moment donat, aigües pluvials, superficials o subterrànies (Metcalf i Eddy, 2003).

Característiques

Les característiques de les aigües residuals depenen del seu origen, que fonamentalment pot ser urbà, industrial, agrícola, ramader, d'infiltracions o pluvial. En termes generals, els contaminants més importants que es troben en les aigües residuals són:

- Sòlids en suspensió.
- Matèria orgànica biodegradable, que representa la fracció orgànica que es pot oxidar biològicament (proteïnes, greixos animals i carbohidrats) i es quantifica a partir de la demanda biològica d'oxigen (DBO) i la demanda química d'oxigen (DQO).
- Patògens presents en residus d'origen fecal o industrial, i que poden transmetre malalties.
- Nutrients (nitrogen, fòsfor i carboni), essencials per al creixement dels microorganismes

però que, en excés, poden fer créixer també les plantes aquàtiques.

- Contaminants prioritari: compostos orgànics o inorgànics tòxics, cancerígens i mutants.
- Matèria orgànica refractària, que representa la fracció orgànica no biodegradable (tensioactius, pesticides o fenols) que no s'aconsegueix eliminar mitjançant tractaments biològics convencionals.
- Metalls pesants procedents de l'activitat industrial o comercial, que poden resultar tòxics a certes concentracions.
- Sòlids inorgànics dissolts, majoritàriament sals, que s'afegeixen a l'aigua de consum durant el seu tractament.

Tots aquests contaminants presents en les aigües residuals s'han de tractar perquè la seva concentració compleixi els límits establerts per les normatives abans d'arribar al medi receptor.

Recollida i tractament

Les aigües residuals es recullen i transporten mitjançant xarxes de clavegueram, on a través dels col·lectors són conduïdes fins a una estació de bombament, una planta de tractament o depuradora, o un punt d'abocament al medi receptor.

Els bombaments tenen com a objectiu donar alçada a l'aigua en transportar-la perquè pugui arribar al seu punt de destinació. Les EDAR tenen com a finalitat reduir la contaminació de l'aigua fins a límits acceptables per la legislació vigent i, sempre que sigui possible, aprofitar els recursos que es derivin d'aquest tractament mitjançant la valorització dels fangs o del biogàs generat en aquest procés.

Els límits d'abocament actualment estan fixats per la Directiva 91/271/CEE (RD 11/95 i RD 509/96) i són els que es mostren a la taula 6.

Les EDAR generalment disposen d'una sèrie de processos encadenats de tractament de l'aigua residual d'entrada, que constitueixen la línia d'aigua, i en la qual es generen uns fangs o llots, que es tracten mitjançant una altra sèrie de processos específics, que constitueixen el que s'anomena 'la línia de fangs'. En una EDAR convencional, l'aigua residual es sotmet a un predesbast, que consisteix en reixes on es separen els sòlids més grossos. Després, l'aigua es tracta en un des-

Paràmetre	Concentració	Percentatge mínim de reducció
Demanda bioquímica d'oxigen (DBO ₅)	25 mg O ₂ ·L ⁻¹	70-90%
Demanda bioquímica d'oxigen (DQO)	125 mg O ₂ ·L ⁻¹	75%
Sòlids en suspensió	35 mg SS·L ⁻¹	90%
Nitrogen total	15 mg N·L ⁻¹ 10 mg N·L ⁻¹ (>100.000 h. eq.)	70-80%
Fòsfor total	2 mg P·L ⁻¹ 1 mg P·L ⁻¹ (>100.000 h. eq.)	80%

Taula 6. Requeriments per a descàrregues d'aigües residuals urbanes segons la Directiva europea 91/271/CEE.

Font: Balaguer et al., 2007.

sorrador i un desgreixador, on s'eliminen les sorres i els greixos, per decantació i flotació respectivament. Tot seguit, l'aigua se sol dirigir a un decantador primari on sedimenta una part de la matèria orgànica i inorgànica, que generen el que s'anomena fang primari. Després es tracta en un reactor biològic on es digereix la matèria orgànica, gràcies a l'activitat biològica de microorganismes que es troben en suspensió a l'aigua formant flocs, i que es desenvolupen en presència d'oxigen. En aquesta etapa, segons la configuració del reactor i la presència o no d'oxigen o altres fonts d'oxidació, com els nitrats o els nitrats, en algunes zones, es pot aconseguir també l'eliminació del nitrogen i el fòsfor presents en l'aigua residual. La nitrificació és un procés aeròbic que converteix l'amoni i altres compostos nitrogenats en nitrat (NO₃⁻), mentre que la desnitrificació té lloc en condicions anòxiques (sense oxigen lliure) i comporta la conversió biològica de nitrat a nitrogen gas (N₂). Tot seguit, l'aigua passa a un decantador secundari on se separa l'aigua depurada dels llots, o flocs decantats, que contenen els microorganismes. Una part d'aquests llots o fangs secundaris recircula cap al reactor biològic, mentre que la resta s'envia al tractament de fangs.

En aquest punt, l'aigua pot abocar-se al medi receptor o bé ser regenerada mitjançant un tractament terciari per a fer-la adequada per a determinats usos que no requereixen una qualitat d'aigua equivalent a la de l'aigua potable, com poden ser el reg o activitats de neteja, entre altres.

La línia de fangs rep els llots provinents de la decantació primària i secundària. L'objectiu del tractament de fangs és estabilitzar i assecar els fangs, i aprofitar-ne el potencial com a recurs. En

un tractament de fangs convencional, els fangs s'espesseixen en espessidors mitjançant flotació o decantació, s'estabilitzen mitjançant digestió (generalment anaeròbia) i es deshidraten. La digestió anaeròbia —ja descrita anteriorment— és una fermentació que produeix un gas ric en metà (biogàs) que es pot aprofitar per generar electricitat i calor. Un cop deshidratats, els fangs es poden assecar, aplicar en agricultura (previ compostatge en alguns casos), cremar o portar a dipòsits controlats, principalment.

Per una altra banda, els tractaments tous (o no convencionals) aprofiten les interaccions pròpies del medi (sòl, aire i aigua) per tractar l'aigua residual. Exemples d'aquest tipus de tractament són els llacunatges, els aiguamolls construïts o els filtres verds. Aquests tractaments es solen trobar en zones rurals amb tractaments descentralitzats i petits i es caracteritzen per ser processos més lents que els que es troben en les EDAR convencionals i que ocupen una superfície més gran, però amb un baix (o nul) consum d'energia i reactius, un manteniment baix i una baixa producció de fangs.

Impacte de les aigües residuals i el seu tractament en les emissions de GEH

Tant la recollida i transport com el tractament de les aigües residuals generen emissions de GEH. La recollida i transport tenen associades emissions degudes, bàsicament, al consum d'energia elèctrica dels bombaments. El tractament genera emissions en els processos de depuració, a conseqüència de l'activitat biològica dels microorganismes que degraden la matèria orgànica de l'aigua residual, i emissions associades al consum d'energia elèctrica o a la crema de combustibles

fòssils per al funcionament d'equips. El consum energètic comporta emissions de diòxid de carboni, mentre que el sanejament emet òxid nitrós i metà (figura 9), ja que no es tenen en compte les emissions de diòxid de carboni d'origen biològic.

En el tractament d'aigües residuals, el metà es forma a partir de la degradació anaeròbica tant de fangs com d'aigua. Tot i que no estan quantificades en estudis a escala real, és conegut que hi ha emissions de metà durant el transport de les aigües residuals, ja que és inevitable que existeixin zones on es generen condicions anaeròbiques dins de les xarxes de clavegueram. En concret, durant el transport de l'aigua residual, i també en les primeres etapes del seu tractament, es forma metà a causa de la fermentació de la matèria orgànica dissolta a l'aigua residual, duta a terme pels bacteris metanogènics i en absència d'oxigen. Aquest metà, dissolt en l'aigua residual, s'allibera

a l'atmosfera en condicions de moviment d'aquesta aigua, com salts d'aigua durant el transport i el pretractament, i fins i tot també pot alliberar-se en els decantadors primaris de les EDAR.

Pel que fa a les emissions produïdes en el tractament de fangs, en els digestors anaeròbics es genera metà amb la fermentació anaeròbica de la matèria orgànica dels fangs. Aquest metà pot arribar a ser alliberat a l'atmosfera a causa de petites fuites en el digestor, per una combustió incompleta a la torxa o per fuites en les conduccions associades. També hi ha una part del metà generat durant la digestió que roman en els fangs, i s'allibera en etapes posteriors, com per exemple durant el compostatge i l'aplicació de fangs a l'agricultura com a conseqüència de remoure el fang. A més, si la destinació final dels fangs és un dipòsit controlat —residus secundaris ja descrits—, també es generen emissions de metà en aquest procés.

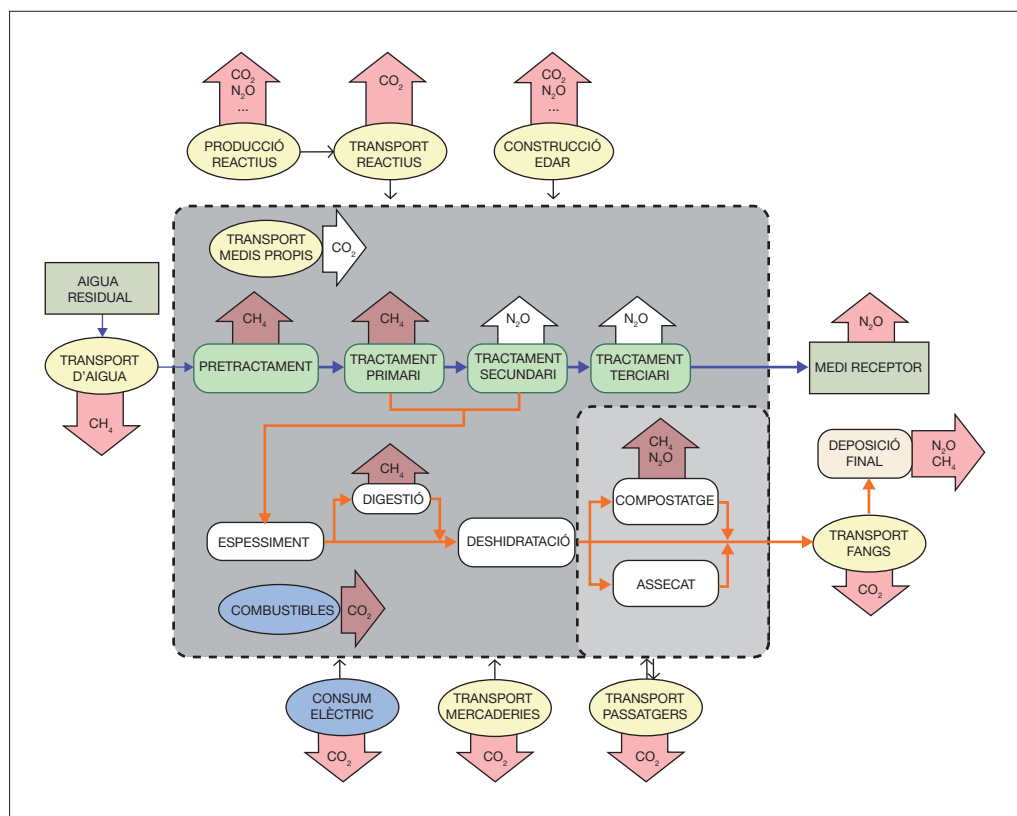


Figura 9. Emissions generades pel tractament de les aigües residuals.

En el tractament de nitrificació i desnitrificació de les aigües residuals es produeix òxid nítrós com a compost intermedi d'aquests dos processos i també se n'emet un cop l'aigua és abocada al medi receptor (riu o mar), a causa de la nitrificació i desnitrificació (incontrolades) del nitrogen que no s'ha eliminat en el tractament. Tot i que l'òxid nítrós pot ser un producte intermedi d'aquests dos processos, generalment s'associa a la desnitrificació. En el compostatge i incineració de fangs, així com en l'aplicació de fangs en agricultura, també es produeix òxid nítrós.

En les plantes amb tractaments d'aigües residuals tous, les emissions són més baixes perquè es tracta de plantes amb consums energètics molt reduïts (Dixon *et al.*, 2003). A més a més, moltes contribueixen al segrest d'emissions gràcies a la presència de vegetació a la coberta d'aquests tractaments (Machado *et al.*, 2007). La comptabilització de les emissions de GEH es fa mitjançant factors d'emissió calculats a partir d'estudis teòrics o, sempre que sigui possible, experimentals.

En el cas de les EDAR, principalment existeixen dues fonts d'informació de factors d'emissió: les guies d'inventaris d'emissions de l'IPCC (IPCC 2006) i les guies de EMEP/CORINAIR (2007) de l'Agència de Protecció Ambiental dels EUA (EPA), tot i que aquestes últimes fan referència a factors d'emissió molt antics. A continuació es detallen els factors d'emissió que es poden trobar a la Guia de l'IPCC, que es poden ajustar a les característiques de cada país seguint la metodologia proposada.

Emissions de metà. La quantitat d'emissions depèn bàsicament de la quantitat de matèria orgànica biodegradable present en l'aigua residual (en les mateixes condicions, com més DBO, més emissions de CH_4), la temperatura (com més temperatura, més emissió de CH_4), el tipus de tractament tant de l'aigua com dels fangs i la disposició final dels fangs. Els factors d'emissió de metà del tractament d'aigües residuals es poden trobar a les guies de l'IPCC (2006) vol 5 ch. 6 *Wastewater Treatment and Discharge*, mentre que el factor d'emissió de metà en la incineració de fangs es troba a vol 5 ch 5 *Incineration and Open*

Burning of Waste. El factor d'emissió que proposa l'IPCC pel metà emès en la línia d'aigua depèn del tipus de tractament que es faci a l'aigua residual i pot variar entre 0 i 0,48 kg CH_4 /kg DBO.

Emissions d'òxid nítrós. Les emissions d'òxid nítrós estan associades a la degradació dels compostos nitrogenats de l'aigua residual (urea, nitrats i proteïnes). Els factors d'emissió d'òxid nítrós del tractament d'aigües residuals es poden trobar a les guies de l'IPCC (2006) vol 5 ch. 6 *Wastewater Treatment and Discharge*. L'IPCC proposa un factor d'emissió degut a la nitrificació i desnitrificació de 3,2 g de N_2O per cada habitant equivalent i any que tracti l'EDAR, mentre que el factor d'emissió de N_2O un cop l'aigua s'ha abocat al medi receptor és de 0,005 kg $\text{N}-\text{N}_2\text{O}$ /kg N.

També es produeixen metà i òxid nítrós en el compostatge (vol 5 ch 4 *Biological Treatment of Solid Waste*) i en l'aplicació de fangs en agricultura (vol 5 ch 2 *Waste Generation, Composition and Management Data*). Vegeu-ne més detalls a l'apartat 20.3. d'aquest capítol.

Cal destacar, per tant, que hi ha diverses emissions directes del tractament d'aigües residuals que no es tenen en compte en els inventaris nacionals calculats segons l'IPCC, com, per exemple, les emissions associades al transport d'aigua residual, les emissions en el pretractament i decantadors primaris així com el tractament i algunes opcions de disposició final de fangs. S'ha calculat que les emissions del transport d'aigua residual i decantadors primaris poden arribar a ser de 40 a 250 t CH_4 /any per planta de tractament. Per tant, són tan importants com les generades pel consum d'energia elèctrica (Guisasola *et al.*, 2008). Pel que fa a les emissions del tractament de fangs i la seva disposició final, poden arribar a representar entre un 35 i un 60% de les emissions totals segons la tipologia de la planta.

Avui dia hi ha projectes d'investigació de finançament privat (R+I *Alliance Carbon footprint - Greenhouse gas emissions at wastewater treatment plants* [Vanden Bossche *et al.*, 2009] i *Carbon footprint across water and wastewater treatment*) que tenen com a objectiu trobar factors d'emissió reals dels processos de tractament d'aigües residuals i fangs, a partir de dades experimentals locals, en aquest cas també de Catalunya.

Altres entitats com la Queensland University estan estudiant aquestes emissions de manera teòrica a partir de dades de la qualitat de l'aigua (Lant, 2009).

Mesures de reducció d'emissions

Una vegada s'han detectat les emissions associades al tractament d'aigües residuals, cal proposar i executar mesures de mitigació d'aquestes emissions. Les mesures de mitigació poden ser de diferent tipus i depenen de la casuística de tractament. En cada cas caldrà veure on es troben les emissions més rellevants de cada planta per conèixer el potencial de reducció d'emissions de cadascuna. Algunes de les mesures que es poden prendre per reduir les emissions de GEH associades a les aigües residuals són:

- Reduir les emissions directes en les xarxes de clavegueram a partir de l'optimització del funcionament hidràulic.
- Reduir l'impacte dels materials associats a les infraestructures, mitjançant l'ús de productes amb menors emissions associades als processos de fabricació i instal·lació.
- Canviar els dissenys de les EDAR: implantar tractaments d'eliminació de nitrogen en les EDAR amb nitrificació parcial i oxidació anaeròbica de l'amoni; realitzar-hi digestió anaeròbia amb cogeneració per aprofitar el biogàs; instal·lar-hi equips generadors d'energies renovables en plantes (minieòlica, solar, tèrmica, etc.) o tecnologies toves i de baix consum energètic.
- Canviar l'operació de les EDAR: implantar-hi sistemes de control multiparamètric avançat o de control de l'aeració.
- Fomentar l'eficiència energètica tant dels equips com dels edificis d'oficines mitjançant el manteniment periòdic dels equips, la realització d'auditories energètiques, l'optimització energètica de processos o la il·luminació eficient.
- Fomentar la reutilització d'aigua regenerada.
- Valoritzar els fangs mitjançant la seva incineració i l'aplicació en agricultura.
- Valoritzar el biogàs mitjançant codigestió, pretractaments que augmentin l'eficiència de la hidròlisi, etc.

- Analitzar, en cada cas, per a la valorització dels fangs i del biogàs, la millor opció des del punt de vista mediambiental mitjançant anàlisi del cicle de vida.

Impactes del canvi climàtic en les característiques de les aigües residuals i en el seu tractament

Cal tenir en compte que els efectes del canvi climàtic sobre el cicle hidrològic també provocaran variacions en les característiques de les aigües residuals i, per tant, en el seu tractament, el qual també es veurà directament influenciat per les condicions ambientals.

Un canvi important serà el de la quantitat i la disponibilitat de recursos: canvis en els patrons dels episodis extrems, juntament amb més inundacions en superfície i menys infiltració. Aquests impactes provocaran increments puntuals de cabal i empitjorament de la qualitat, que, amb la possible aparició de normatives més exigents, obligaran a canviar l'operació i potser el disseny de les plantes depuradores d'aigües residuals, així com les infraestructures per al transport d'aquestes aigües.

L'increment de temperatura pot accelerar els processos de tractament i el creixement dels bacteris aerobis que oxiden la matèria orgànica de l'aigua, i com a conseqüència, podria ser necessari disminuir el temps de retenció de l'aigua a la planta.

Els canvis en usos del sòl, l'augment de la població, un menor consum d'aigua i la major eficiència en el seu ús poden provocar també canvis en les concentracions dels diferents components. Tot això cal tenir-ho en compte a l'hora d'avaluar l'eficàcia futura dels processos de tractament i la planificació dels costos futurs de depuració. Cal analitzar també les possibles contradiccions entre les noves necessitats i exigències de tractament i l'increment d'emissions que això pot representar en alguns casos.

20.7. Conclusions

El PMMCCC preveu per al sector residus una reducció total d'emissions de 0,325 Mt CO₂eq/any. Recordem que a Catalunya les emissions de GEH generades pel sector residus eren de 2,7 Mt de CO₂ equivalents l'any 2005 (Dep MAH, 2008), i

que respecte a l'any de referència havien experimentat un increment d'un factor 1,47. Tenint en compte el creixement d'aquestes emissions en els darrers anys, caldria plantejar a mitjà termini retornar a l'any de referència. En l'anàlisi de l'estat actual s'ha constatat que caldria dur a terme accions de recerca, per obtenir dades i inventaris de qualitat en els aspectes següents:

- Dades experimentals de caire local de les emissions en les diferents operacions unitàries de les EDAR.
- Dades experimentals de caire local del percentatge de captació de biogàs en els abocadors i altres instal·lacions.
- Adequada caracterització dels fluxos de residus de la construcció, així com dels residus industrials assimilables a RSM, inadecuadament classificats com a generals, i fins i tot en algun cas com a banals.
- Descripció del metabolisme d'alguns materials, com els plàstics, per la seva rellevància en els propers anys.
- Descripció del metabolisme dels fluxos del sector residus i en especial dels residus secundaris.
- Anàlisi del cicle de vida adaptat a les tecnologies i les tècniques reals dels tractaments tèrmics (assecatge, evaporació, combustió) aplicats als residus.
- Estudis de l'evolució de la dieta. Les emissions dels RSM depenen de la seva composició, i per tant, de la dieta de les persones generadores; si en el futur hi ha canvis en el comportament social, això també afectarà les emissions de GEH.

Les oportunitats que ofereix el sector residus per reduir les emissions de GEH són nombroses i poc aplicades fins avui. La primera de les mesures, reiterativa, és la reducció en origen a partir de les bones pràctiques en els diferents fluxos de residus: runa, ramaders, RSM, industrials, aigües residuals urbanes i industrials i residus secundaris. La reducció del flux de residus secundaris serà clau, i possible, en els propers anys, ja que ha estat el flux que més s'ha incrementat en els darrers anys. També serà clau incidir en el transport dels residus, començant pels ramaders, la

runa, els secundaris i els RSM; les millores en el transport es poden combinar amb la valorització material en origen, que també representa una disminució en el transport. També cal assenyalar com a tercer aspecte clau millorar l'eficàcia de recollida del biogàs en els abocadors, per millorar la gestió i operació.

Les oportunitats que ofereixen les mesures de mitigació aplicades al transport són considerables, ja que, tal com s'ha vist, actualment aquestes emissions no són menyspreables, i això requerirà apropar les plantes de gestió dels residus als punts de generació. A més, a mesura que es disminuiran les emissions en les plantes de tractament i abocadors, les emissions en l'etapa de transport seran més rellevants. El transport interurbà del RSM és un factor clau en el qual cal actuar per disminuir en el futur aquestes emissions; també ho són els serveis de repàs i manteniment en la recollida dels RSM. Al mateix temps, la ubicació propera als ciutadans dels punts verds i de les deixalleries serà clau per a minimitzar les emissions associades al transport amb vehicle privat dels residus a les deixalleries. Fàcilment s'hauria de superar el marc de reducció de GEH del PMMCCC a mitjà termini, a partir d'incidir en els fluxos de residus:

Ramaders. La digestió anaeròbia que ja va ser proposada i valorada en el PICS continua sent la via de mitigació més efectiva. Evidentment la seva implantació depèn del funcionament de les infraestructures actuals i del desenvolupament de tecnologies noves.

RSM. S'ha plantejat un escenari de transició fins al 2012 basat en el funcionament actual, les previsions dels plans de gestió —amb increment de la recollida selectiva de FORM i disminució de la generació, entre altres factors— i la incorporació de la preestabilització biològica de les fraccions que es gestionen cap a l'abocador. Els resultats demostren que els guanys que aquest escenari podria aportar a mitjà termini són considerables i no menyspreables. Aquest escenari aplicat als RSM permetria assolir per si sol les reduccions previstes en el PMMCCC en només dos anys una vegada implantat, encara que les principals reduccions serien a mitjà termini.

Industrials. Millorar la classificació i la segregació en origen de les fraccions de residus assimilables a RSM, i disminuir la seva gestió cap a l'abocador.

Secundaris. Millorar l'eficàcia de les actuals instal·lacions de gestió dels residus

Transport. Millorar-ne la logística, així com els emplaçaments de les plantes.

Referències

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *L'Agència. Memòria 2008*. Barcelona. (2008).
- ALVAREZ, M.D.; SANS, R.; GARRIDO, N.; TORRES, A. «Factors that affect the quality of the bio-waste fraction of selectively collected solid waste in Catalonia». *Waste Management*, vol. 28, núm. 2 (2008), p. 359-366.
- AMLINGER, F.; PEYR, S.; CUHLS, C. «Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment». *Waste Management and Research*, núm. 26 (2008), p. 47-60.
- ARTOLA, Adriana; BARRENA, Raquel; FONT, Xavier [et al.] «Composting from a Sustainable Point of View: Respirometric Indices as Key Parameter». *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 3 (Special Issue 1) (2009), p. 1-16.
- AGÈNCIA DE RESIDUS DE CATALUNYA. «Metodologia d'obtenció de les dades estadístiques de residus industrials». Juny de 2009. <http://www.arccat.net/ca/publicacions/pdf/estadistiques/industrials_2006_m_eteod.pdf> [octubre 2009].
- BALAGUER, Maria Dolors; PUIG, Maria Àngels; SALGOT, Miquel [et al.] «Gestió i tractament d'aigües residuals» Universitat de Girona, (2007) Edició electrònica <<http://dugi-doc.udg.edu/html/10256/697/portada.htm>> [novembre 2009].
- BARBA, Nart; ANTIA, Núria. «Estudi predictiu sobre la producció de biogàs a l'abocador de Coll Cardús». Universitat Politècnica de Catalunya (2006). <<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/4012>>
- BRABER, K. «Anaerobic digestion of municipal solid wastes: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough». *Biomass and Bioenergy*, vol. 9, núm. 1-5 (1995), p. 365-376.
- CADENA, Erasmo. «Environmental impact analysis at full scale OFMSW biological treatment plants. Focus on gaseous emissions». Universitat Autònoma de Barcelona. (2009). (Tesi doctoral).
- CADENA, Erasmo; COLÓN, Joan; ARTOLA, Adriana; [et al.] «Environmental impact of two aerobic composting technologies using life cycle assessment». *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 14, núm. 5 (2009a), p. 401-410.
- CADENA, Erasmo; COLÓN, Joan; SÁNCHEZ, Antoni [et al.] «A methodology to determine gaseous emissions in a composting plant». *Waste Management*, núm. 29 (2009b), p. 2799-2807.
- COLÓN, Joan; MARTÍNEZ-BLANCO, Julia; GABARRELL, Xavier, [et al.] «Environmental assessment of home composting». *Resources Conservation and Recycling*. (2010). DOI 10.1016/j.resconrec.2010.01.008.
- DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE. *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. (2008). <http://mediambient.gencat.net/cat/el_med/C_climatic/occc/docs/pla_marc_mitigacio_cc_def.pdf>
- DIXON, A.; SIMON, M.; BURKITT, T. «Assessing the environmental impact of two options for small-scale wastewater treatment: comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach». *Ecological Engineering*, vol. 20, núm. 4 (2003), p. 297-308.
- EISTED, R.; LARSEN, A.W.; CHRISTENSEN, T.H. «Collection, transfer and transport of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contribution». *Waste Management & Research*, (2009). DOI 10.1177/073424X09347796.
- EMEP/CORINAIR «EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook» 2007 <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR5/>
- EUROPEAN COMMISSION. «Working document on sludge 3rd draft». (2000). <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_en.pdf>
- FRAGKOU, Maria Christina; VICENT, M. Teresa; GABARRELL, Xavier. «A general methodology for calculating the MSW management self-sufficiency indicator: Application to the wider Barcelona area». *Resources Conservation and Recycling*, vol. 54, núm. 6 (2009), p.390-399.
- GARCIA, German. *Estudi dels rendiments d'una planta de tractament biològic*. Universitat Autònoma de Barcelona. (2009). (Projecte de fi de carrera, Enginyeria tècnica industrial en Química industrial).

- GUISASOLA, Albert; DE HAAS, David; KELLER, Jurg; YUAN, Zhiguo «Methane formation in sewer systems» *Water Research*, vol. 42, núm. 6-7, (2008), p. 1421-1430.
- HAUG, R. T. «The Practical Handbook of Compost Engineering», Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, (1993), p 35-65.
- IRIARTE, Alfredo; GABARRELL, Xavier; RIERADEVALL, Joan. «LCA of selective waste collection systems in dense urban areas». *Waste Management*, vol. 29, núm. 2 (2009), p. 903-914.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. «Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories». 2006.
<<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>> [octubre 2009].
- LANT, Paul. «Energy and Greenhouse Footprints of Wastewater Treatment Plants - Establishing a Benchmark», IWA Water&Energy (2009) 29-31. Octubre 2009. Copenhagen, Dinamarca.
- LARSEN, Anna W.; VRGOC, Marko; CHRISTENSEN, Thomas H.; LIEBERKNECHT, Poul. «Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance». *Waste Management and Research*, núm. 27 (2009), p. 652.
- LOU, X.F.; NAIR, J. «The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions - A review». *Biosource Technology*, núm. 100 (2009), p. 3792-3798.
- MACHADO, A.P.; URBANO, L.; BRITO, A.G. [et al.] «Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities». *Water Science & Technology*, vol. 56, núm. 15-22 (2007), p.15-22.
- MERCIA, A. *Marco de transición hacia la recogida selectiva de la materia orgánica y emisiones GEI*; Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. (2009). (Treball de recerca del màster en Estudis ambientals).
- METCALF, Eddy. *Wastewater Engineering, treatment and Reuse*. McGraw-Hill. (2003).
- MMAR. «Inventario de emisiones a la atmósfera de España», edición 2009, (sèrie 1990-2007). Sumario de resultados de GEI. (2009) http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/pdf/Sumario_Inventario_de_Emisiones_GEI-serie1990-2007.pdf
- PÉREZ BORT, Irene. «Avaluació ambiental de la recollida de residus municipals de Sant Boi de Llobregat». (2008). <[tp://www.recercat.net/handle/2072/12524](http://www.recercat.net/handle/2072/12524)>
- Programa de Gestió de Residus Municipal de Catalunya (PROGREMIC 2007-2012)*; Barcelona: Generalitat de Catalunya, Agència de Residus de Catalunya. (2009). <[tp://www.arc-cat.net](http://www.arc-cat.net)>
- RIVES, J.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL J. «LCA comparison of container systems in municipal solid waste management». *Waste Management* (2010).
- RIERADEVALL, J.; VINYETS, J. «Ecodiseño y Ecoproductos». Editorial: Rubes Editorial. Barcelona (1999).
- TCHOBANOGLOUS, G.; THEIXEN, H.; VIGIL, S. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Barcelona: McGraw-Hill, Inc., (1994).
- UTRERA, Patricia. *Adequació del funcionament del dipòsit controlat de residus sòlids de Castellnou de Seana a la normativa vigent i avaluació de la producció de lixiviats i biogàs*. Universitat Autònoma de Barcelona, (2001). (Projecte Final de Carrera de la llicenciatura de Ciències Ambientals).
- VAN DEN BOSSCHE, H.; SENANTE, E.; GAREL, C.; [et al.] «Carbon Footprint: Direct Greenhouse Gases Emissions of a Wastewater Treatment Plant». 7th IWA World Congress on Water Reclamation and Reuse, 21-29 September 2009, Brisbane, Australia. (2009).
- VAN DER ZEE, F.P.; VILLAVARDE, S.; GARCÍA, P.A.; FDZ.-POLANCO, F (2007) «Sulfide removal by moderate oxygenation of anaerobic sludge environments». *Bioresource Technology*, vol. 98, núm 3, p. 518-524.

Abreviatures i sigles emprades

ACV	Anàlisi del cicle de vida
ARC	Agència de Residus de Catalunya
DBO	Demanda biològica d'oxigen
DQO	Demanda química d'oxigen
EDAR	Estació depuradora d'aigües residuals
EUA	Estats Units d'Amèrica
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (EUA)
FORM	Fracció orgànica dels residus municipals
GEH	Gasos amb efecte d'hivernacle
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MO	Matèria orgànica
MORD	Matèria orgànica ràpidament degradable
PICS	Primer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya
PMGRM 2004-2006	Programa metropolità de gestió de residus municipals 2004-2006
PMMCCC	Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012
PROGREMIC	Programa de gestió de residus municipals a Catalunya
RSM	Residus sòlids municipals
SICC	Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya
SIMUR	Sistema d'informació i modelització urbana de residus

21. Salut

Josep Miquel Raso

Josep Miquel Raso Nadal és professor a la Universitat de Barcelona des de l'any 1972, on és titular de Geografia Física des de 1985. Ha centrat les seves activitats de recerca en temes climatològics, particularment en l'anàlisi probabilística de les precipitacions, l'estudi d'esdeveniments atmosfèrics extrems, canvi climàtic i en l'estudi de la incidència del clima i la contaminació en la salut humana. La seva tesi doctoral *El clima de Balears* fou publicada en forma abreviada per la Universitat de Barcelona. Altres obres de l'autor són *El clima d'Andorra*, *El Clima i la Salut* i, en col·laboració *Los climas. Fundamentos y sugerencias didácticas*, *Estadística básica para ciencias sociales* i *Atlas Climàtic de Catalunya*. A més, ha publicat una seixantena d'articles en revistes especialitzades i capítols de llibres científics.

Resum i mots clau	913
21.1. El clima i la salut humana: una antiga i renovada preocupació	915
21.1.1. Relació entre clima i salut fins temps recents	915
21.1.2. Capgirament de l'atenció als impactes del clima davant l'actual canvi climàtic	916
21.2. Canvi climàtic i efectes de les temperatures en la salut	919
21.2.1. Els episodis i les onades de fred	922
21.2.2. L'impacte de l'escalfament i les onades de calor	925
21.2.3. Beneficis per a la salut d'una possible mitigació del canvi climàtic	928
21.2.4. Adaptació al canvi climàtic. Els sistemes d'alerta i avís	930
21.3. La radiació ultraviolada i la salut: conseqüències de la disminució de l'ozó estratosfèric	937
21.3.1. La radiació ultraviolada i l'ozó estratosfèric	938
21.3.2. Riscos per a la salut de l'exposició excessiva a la radiació ultraviolada	939
21.3.3. Acords destinats a la protecció de l'ozó estratosfèric: primers efectes positius	941
21.4. Canvi climàtic i malalties infeccioses	943
21.4.1. La transmissió de les malalties infeccioses	943
21.4.2. Impactes del canvi climàtic en la transmissió de malalties infeccioses	943
21.5. Impactes dels episodis climàtics i meteorològics de caire catastròfic	953
21.5.1. Tempestes i inundacions	953
21.5.2. Secades	953
21.6. Canvi climàtic i contaminació atmosfèrica	954
21.6.1. Contaminants inorgànics de generació antròpica	954
21.6.2. Contaminants biogenètics	955
21.6.3. Contaminants minerals	956
21.6.4. Necessitat d'un seguiment de la contaminació	957
21.7. Conclusions	957
Referències	959

Resum

Entre l'ampli ventall d'impactes i conseqüències que comportarà el canvi climàtic, possiblement les més preocupants són les que puguin afectar l'estat de benestar i salut de la població. El canvi climàtic representa una situació nova en la ja llarga història de la Terra, a causa del ritme temporal d'establiment dels canvis pronosticats. El clima, realment, ha canviat sempre, però les variacions empraven una escala de temps ben diferent de la pronosticada per als canvis ja iniciats i que previsiblement s'aniran consolidant al llarg del present segle. Justament, aquest ritme tan ràpid, quasi de relativa *immediatesa*, comparat amb canvis precedents, dificulta establir previsions fiables respecte a l'abast de les conseqüències de tot gènere, i, particularment, per a la salut que comportaran aquests canvis presents i futurs. Precisament, per tractar-se d'una situació nova per a cada territori i per la impossibilitat de la seva reproducció i experimentació en un laboratori, les previsions dels possibles efectes, directes i indirectes, en l'organisme humà han de fonamentar-se sobre observacions realitzades en diferents territoris i en temps pretèrits. És evident que uns pronòstics així formulats no estaran exempts d'incertesa, sobretot pel que fa a la seva magnitud, però la certesa respecte a l'esdeveniment d'importants efectes per a la salut provocats pel canvi climàtic és màxima, i les primeres manifestacions ja han estat destacades en multitud de treballs.

Per més que no lliures d'incertesa, les estimacions de les conseqüències que comportarà el canvi climàtic a cada territori són del màxim interès pràctic, puix que són imprescindibles a l'hora de decidir accions adreçades a minimitzar el seus impactes negatius. Encara que el progressiu escalfament general del planeta i el possible increment en la freqüència i intensitat d'esdeveniments atmosfèrics extrems constitueixin els trets més destacats i de general acceptació en la definició del canvi climàtic, els impactes socials i econòmics, i particularment els efectes que provocaran en la salut de la població, variaran sensiblement d'uns territoris a uns altres, no

només per les dificultats d'estimació de les tendències d'altres elements del clima, sinó perquè les repercussions dependran d'altres factors determinants en l'abastament dels efectes desencadenats pel temps atmosfèric i el clima, entre els que cal destacar la posició i situació geogràfica, i les condicions econòmiques i socials de cada territori. És per això que les estimacions de les possibles conseqüències del canvi climàtic en la salut de les persones han de formular-se per a cada país, com pretén el present capítol en intentar preveure els possibles efectes en la població de Catalunya.

Una breu referència a la interpretació dels efectes del clima en la salut de les persones des de molt abans que la imminència i primeres manifestacions de l'actual canvi climàtic fos motiu de preocupació entre científics i responsables de la sanitat i l'administració, facilitarà l'enteniment i valoració dels impactes actuals i futurs. Escrits atribuïts a Hipòcrates i àdhuc anteriors, és a dir, de fa més de 2.400 anys, ja al·ludien a les possibles relacions entre la variabilitat del clima i l'estat de benestar i salut. Tot i no plantejar-se cap tipus de canvi climàtic, les seves apreciacions i les que se succeïren fins temps recents només destacaven les conseqüències dels temps atmosfèrics possibles en un clima suposadament estable. Durant segles, les malalties més freqüents i conegudes eren les infeccioses, i les epidèmiques el motiu de màxima preocupació, però no fou fins el segle XIX que els científics esbrinaren les causes d'aquestes malalties. Malgrat el desconeixement de l'entitat dels gèrmens patògens, moltes de les observacions empíriques eren encertades. Després del descobriment dels microbis, la reparació de les primeres vacunes i l'elaboració dels primers medicaments eficaços contra les malalties infeccioses, s'atribuí un menor protagonisme a la incidència del clima en la salut, tots creien que s'havia aconseguit controlar aquestes malalties. Però això fou només parcialment cert als països més desenvolupats, mentre els menys dotats de mitjans continuaven patint infeccions i epidèmies de forma similar o, en tot cas, no tan

greus com en temps precedents. La constatació dels efectes de les condicions atmosfèriques en les malalties no infeccioses, particularment preocupants o greus per a molts pacients crònics dels sistemes circulatori i respiratori, o entre persones d'edat avançada, així com la comprovació de la continuïtat d'antigues patologies infeccioses i l'emergència de noves en territoris que es creien lliures d'aquestes afeccions, permeté fixar, novament, en els darrers decennis del segle XIX, una atenció a les relacions entre el clima i la salut. Una atenció reforçada davant la preocupació creixent pels possibles efectes present i futurs del canvi climàtic.

De tota la sèrie d'efectes directes i indirectes destacats en els informes de l'IPCC i en diferents estudis publicats els darrers anys, els que, sens dubte, representen un risc més gran per als habitants de Catalunya són els provocats pels episodis de calor extrema, les anomenades *onades de calor*, com les que l'any 2003 causaren un significatiu augment de la mortalitat a tot el país, però particularment notable a la capital i a l'àrea metropolitana de Barcelona. A més, la intensificació de la freqüència i severitat de les onades de calor i l'increment generalitzat de les temperatu-

res exacerbarà la generació i agressivitat dels contaminants en les àrees més urbanitzades, els quals poden provocar o intensificar no poques afeccions cardíques, respiratòries i al·lèrgiques. Menys perill representen, almenys de moment, els contaminants biogenètics, essencialment constituïts per pol·len i alguns elements d'origen vegetal, la producció dels quals pot esdevenir alterada pel canvi climàtic en tant que l'augment de les temperatures, d'una banda, podria perllongar el temps de generació de pol·len per part de les plantes autòctones de cada territori i, d'una altra, facilitar l'aparició d'espècies al·lògenes, com ja s'ha observat a diferents territoris europeus. La pols procedent del Sàhara representa actualment un risc menor, però no inexistent, com a al·lergogen i exacerbant d'afeccions respiratòries, un risc que podria créixer amb el canvi climàtic.

Mots clau

Al·lèrgia, càncer, cataractes, contaminació atmosfèrica, cop de calor, epidèmia, estacionalitat, inundació, malalties cardiovasculars, malalties infeccioses, malalties respiratòries, morbiditat, mortalitat, onada de calor, ozó, pol·len, temperatura.

21.1. El clima i la salut humana: una antiga i renovada preocupació

El clima mai no ha romàs estable, i ha conegut canvis importants, àdhuc dràstics, al llarg de la ja dilatada història de la Terra. No pocs dels canvis climàtics que es succeïren en temps geològics assoliren un abast, ben segur, superior al més pessimista dels pronosticats per a l'actual segle pels diferents escenaris definits en els informes de l'IPCC, però esmerçaren milers o milions d'anys en cada procés de mutació en un planeta deshabitat o escassament poblat pels més primitius dels nostres avantpassats. La pròpia colonització de la Terra per part dels éssers vius, amb les consegüents aparicions i desaparicions de diferents espècies, estigué determinada o depengué d'aquests canvis. Nogensmenys, justament per tractar-se d'uns canvis que empraren en la seva evolució uns terminis de llargada molt superior a la de la vida de les persones, les successives generacions d'habitants que han poblat el planeta des de l'aparició de l'espècie humana en cap moment foren conscients de la seva existència, malgrat haver-se hagut d'adaptar als corresponents canvis mediambientals, fins que estudis científics realitzats al segle XIX demostraren l'alternança de les glaciacions quaternàries, quan les geleres cobrien les cotes pirinenques més altes i davallaven per les seves valls fins a altituds d'uns centenars de metres, amb altres èpoques en què retrocedien fins a la seva desaparició sobre la serralada.

Però les necessitats d'acomodació a un entorn només modificat per unes variacions climàtiques d'origen fonamentalment natural, esdevingudes a escala geològica, en el món escassament habitat dels primers pobladors, eren ben diferents de les que segurament comportaran les condicions mediambientals determinades pels previsible canvis climàtics anunciats per al segle present, sobre un globus densament poblat, si es pretén garantir la seva sostenibilitat.

Una breu referència a temps pretèrits recents facilitarà un millor enteniment dels efectes de la variabilitat i els canvis climàtics sobre el medi ambient i la salut humana, davant els pronòstics formulats per a un futur immediat.

21.1.1. Relació entre clima i salut fins temps recents

La preocupació per la incidència del clima en la salut humana és tan antiga com la mateixa climatologia. Precisament ha estat considerat iniciador d'aquesta ciència Hipòcrates, tradicionalment reconegut com el pare de la Medicina, en ser, amb tota probabilitat, l'autor d'*Aires, aigües i llocs*, una de les 53 petites obres o escrits que componen l'anomenat en el seu honor *Corpus Hippocraticum*. Aquests escrits realment foren composts al llarg d'un període de temps no inferior a sis segles i constitueixen els fonaments de la medicina hipocràtica, la qual recollia el pensament d'autors anteriors, particularment el d'Alcmeó de Crotona. L'al·ludit escrit *Aires, aigües, llocs* destacava la importància de l'aire aportat per vents procedents de diferents direccions, el calor i el fred, així com la qualitat de les aigües per al manteniment de l'estat de salut i la necessitat de conèixer les diferències climàtiques regionals i estacionals per investigar l'origen de les malalties. Altres escrits es referien a la incidència del temps atmosfèric en la propagació d'epidèmies.

El pensament de la Grècia clàssica tingué continuïtat a la Roma imperial, la qual l'adoptà com a propi. Cels, al segle I, sistematitzà els coneixements mèdics dels grecs i, un segle més tard, Galè, metge grec establert a la cort imperial de Marc Aureli, sintetitzà el pensament d'Hipòcrates i d'altres autors del seu país i definí la pesta o epidèmia com una malaltia provocada per la corrupció de l'aire que atacava gran nombre de persones.

La medicina grecoromana entrà en un procés d'estancament i decadència després de la mort de Galè, al començament del segle III, que es mantingué fins als darrers temps de l'Edat Mitjana, malgrat la continuïtat dels fonaments de la medicina hipocràtica i, particularment, la seva preocupació per la incidència de les condicions ambientals en la salut de les persones. Fidel a aquesta línia, Arnau de Vilanova (1234-1311), considerat per Laín Entralgo (1990), juntament amb Pietro d'Abano, el cim de la medicina escolàstica, defensava que les malalties epidèmiques

eren provocades per la corrupció de l'aire o per certs influxos astrals, els quals, en el parer del seu temps, incloïen les condicions atmosfèriques. La interpretació àmpliament acceptada a Europa durant l'Edat Mitjana, la qual afirmava que l'origen de les epidèmies era un càstig celestial, era difícil de mantenir quan, a finals d'aquesta edat i començaments de l'Edat Moderna, aparegueren epidèmies de magnituds desconegudes fins llavors. Davant la necessitat de trobar explicacions més consistents a la proliferació de noves crisis epidèmiques, les teories hipocràtiques tornaren a merèixer el reconeixement dels professionals de la medicina. Així, els responsables de la salut pública, quan Europa fou castigada per les darreres grans epidèmies, adoptaren mides inspirades en la ciència clàssica.

Al segle XVII, Sydenham, un dels metges més eminents de tots els temps, alhora que mostrava el seu escepticisme sobre l'eficàcia de la medicina llavors coneguda, acceptava els conceptes essencials promulgats per Hipòcrates, particularment la importància de les condicions atmosfèriques en la propagació de les malalties. El pensament hipocràtic perdurà en multitud de treballs realitzats durant segles posteriors, particularment inspirà les anomenades topografies mèdiques, concebudes per facilitar el treball dels responsables de la sanitat. Aquets treballs eren autèntics estudis monogràfics sobre localitats o determinades regions que s'ocupaven de diferents aspectes, com la història i la geografia de cada espai analitzat, tot i que concedien un paper protagonista al temps atmosfèric en el desencadenament de les malalties, sobretot d'aquelles susceptibles de provocar epidèmies. Les patologies d'aquests tipus estaven determinades per una misteriosa alteració de l'atmosfera i la conjunció d'altres fenòmens mediambientals com la proximitat d'espais humits, sobretot d'aiguamolls, així com per les condicions de salubritat i vida de les ciutats.

Cal tenir en compte que les més corrents causes de mort, fins a mitjan de segle XX, foren les provocades per les malalties infecto-contagioses i que, fins a la segona meitat del segle XIX, es desconeixia que l'origen d'aquestes patologies eren els microbis patògens. Els èxits aportats per la nova epidemiologia des de llavors i, posteriorment, la disponibilitat d'abundants i eficaços

mitjans de lluita contra les malalties infeccioses comportaren la crisi dels paradigmes que sustentaven les antigues interpretacions de l'origen i difusió d'aquestes malalties, les quals assignaven al clima i al medi ambient un paper primordial en el seu origen i difusió. Això permeté que els defensors més optimistes de les noves aportacions científiques arribessin a tenir la il·lusió de l'esdeveniment d'un possible control de les malalties tradicionalment relacionades amb les condicions del clima i del medi més proper. D'acord amb aquestes premisses, els esforços dels responsables mèdics haurien d'adreçar-se en el futur al guariment de les malalties cròniques, especialment del càncer, la diabetis i les afeccions cardiovasculars i respiratòries, anomenades *malalties de la modernitat*.

21.1.2. Capgirament de l'atenció als impactes del clima davant l'actual canvi climàtic

Els progressos assolits en el coneixement de l'origen de les malalties infeccioses i els èxits aconseguits en la seva previsió als inicis de la segona meitat del segle XX, eclipsaren el protagonisme secular que els professionals de la medicina havien atribuït al clima. En realitat, el paper adjudicat al clima en temps pretèrits era equívoc i, en tot cas, exagerat pel que fa a l'etiologia i transmissió de patologies d'origen microbià. En aquells moments, tampoc es dedicà prou atenció a l'anàlisi de la possible incidència del temps i el clima en el desencadenament i evolució de les malalties presumptivament desenvolupades sense intervenció microbiana, les anteriorment al·ludides com a malalties de la modernitat. Tanmateix, noves verificacions i investigacions motivaren la necessitat de nous postulats per afrontar les exigències d'un món canviant.

En primer lloc, ben aviat es constatà la sensibilitat de determinades malalties de la modernitat, particularment de les afeccions cardiovasculars i respiratòries, a les condicions mediambientals, sobretot sota situacions atmosfèriques extremes. Al mateix temps, determinats esdeveniments concurrents amb l'inici i evolució d'antigues malalties infeccioses tornaven a relacionar-se amb la variabilitat del temps i del clima. Aquestes patologies, realment, tan sols havien arribat a ser controlades parcialment als països

desenvolupats, mentre persistien, pràcticament amb tota la seva virulència, a les nacions en vies de desenvolupament, acolloïdores de la major part de la població mundial.

En segon lloc, a començaments del darrer quart de la passada centúria, no pocs dels especialistes en l'estudi del clima, per bé que amb l'escepticisme d'uns altres, començaren a vaticinar la imminència d'un canvi de clima, el qual hauria de produir-se en un termini relativament curt, dins els següents anys i al llarg del segle XXI. Els enregistraments realitzats els últims decennis han dissipat els recels inicials i han detectat el començament del canvi anunciat, una realitat ja fora de tota discussió. A més, per tractar-se d'un canvi climàtic que, segons les previsions més optimistes, i en cas que no s'aconsegueixi evitar-lo, s'imposarà en tan sols una centúria o menys temps, i no es disposarà d'experiències precedents o testimonis prou adients per facilitar la previsió acurada dels riscos de tota mena que haurà de comportar. Aquest canvi climàtic contribuirà a un increment de les malalties i de les morts prematures. Entre els efectes que, d'acord amb el darrer informe de l'IPCC (2007), el canvi climàtic provocarà en la salut, cal destacar: a) l'increment de la mortalitat, així com el nombre de malalties i traumatismes provocats per onades de calor, inundacions, incendis i sequeres; b) la intensificació dels contagis de determinades malalties transmeses per vectors, com el paludisme i el dengue, i l'expansió de les àrees on actualment són endèmiques; c) l'augment de la mobilitat i mortalitat per afeccions cardíaques i respiratòries desencadenades per taxes excessivament altes d'ozó a nivell de terra i per altres contaminants atmosfèrics; d) la malnutrició i l'endarreriment en el creixement i desenvolupament infantil en totes aquelles regions castigades per una reducció en la producció d'aliments conseqüència del canvi climàtic. Tanmateix, els impactes del canvi climàtic no seran exclusivament nocius per a la salut, ja que, com és obvi, disminuirà el nombre potencial d'afectats per les onades de fred, i les collites previsiblement augmentaran a latituds altes. Aquests efectes, però, no comportaran un contrapès als més freqüents i greus danys relacionats amb l'escalfament global, sobretot tenint en compte que els beneficis

es concretaran a latituds altes, mentre que la producció d'aliments a latituds baixes podrien esdevenir afeblides, justament allà on es concentren els països que disposen de menys recursos. El contrast entre efectes positius i negatius variarà d'uns llocs a uns altres i dependrà, a més, no tan sols de l'augment de les temperatures, sinó també de l'educació, el nivell sanitari, les infraestructures i les disponibilitats econòmiques (Confalonieri *et al.*, 2007). El govern britànic convocà el febrer de 2005 una reunió internacional per discutir els nivells d'escalfament que no haurien de comportar riscos importants. Els experts convocats recomanaren que l'increment de les temperatures hauria de limitar-se a un màxim de 2 °C amb relació a les mitjanes preindustrials. Sota aquest llindar, un canvi climàtic regional reportaria tant guanyadors com perdedors. Tanmateix, l'elevació de les temperatures probablement excedirà aquest nivell, doncs ja s'ha produït un augment de 0,76 °C, i l'ascens prosseguirà encara que s'aturin les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (Costello *et al.*, 2009).

Per més que el canvi climàtic sigui general, els efectes sobre la salut afectaran de manera desigual a diferents dominis continentals i regions del món. Els països en vies de desenvolupament seran els més vulnerables als diferents riscos previsibles (Lipfert, 2005; McMichael *et al.*, 2008). El canvi climàtic representa la més gran amenaça per a la salut del segle XXI i provocarà efectes desiguals que exacerbaran les diferències existents entre els països rics i els pobres, unes diferències manifestament injustes, ja que, en darrera instància, són determinades activitats antròpiques desenvolupades als primers les responsables essencials d'uns problemes que ja han començat a generar-se i previsiblement s'agreuaran en els propers decennis, mentre que els segons patiran la major part de les conseqüències (Costello *et al.*, 2009; Marmot, 2005). L'IPCC (2007) considera que l'increment de les temperatures ja iniciat prosseguirà al llarg de l'actual centúria i preveu augments de les temperatures mitjanes estimades per a diferents escenaris que oscil·len entre 1,1 °C i 6,4 °C, amb estimacions òptimes d'entre 1,8 °C i 4,0 °C, però els més moderats i optimistes d'aquests escenaris inclouen una evolució de l'energia i de la generació de gasos amb

efecte d'hivernacle possiblement poc realistes i de difícil assoliment. L'actual creixement de la demanda d'energia i generació de diòxid de carboni a països en vies de desenvolupament, especialment a l'Índia i la Xina, depassa les emissions assumides pels al·ludits escenaris per al primer decenni del segle XXI. De no produir-se avançaments decisius en la producció d'energia, l'IPCC possiblement actualitzarà els escenaris d'emissió en l'informe de 2013 o anys posteriors (Pielke, Wigley i Green, 2008). Com destacà la directora de l'Organització Mundial de la Salut l'any 2008, ja no hi ha dubte que el clima està canviant, els seus efectes s'estan sentint i les activitats humanes són la principal causa (McMichael, Neira i Heymann, 2008). La determinació i previsió dels efectes de tot tipus, però particularment els relatius a la salut humana, que pugui provocar el canvi climàtic no són activitats fàcils, atesa la complexitat del mateix canvi climàtic i les diferències no només físiques, sinó també ecològiques, mediambientals i socials entre uns territoris i uns altres (Forastiere, 2009).

La mitigació del canvi climàtic, proposada i aferrissadament reclamada per la societat científica, sembla quasi inviable, almenys a curt termini, per raons pressupostàries, per més que, a la llarga, podria esdevenir econòmicament beneficiosa. La recent Convenció sobre el Canvi Climàtic de desembre de 2009 acabà en un estrepitós fracàs tot intent d'acord sobre una reducció real i significativa de la generació de gasos amb efecte d'hivernacle. Només Europa mostrà una certa disposició a acceptar una reducció real, però no els principals productors d'aquests gasos, sobretot la Xina i també l'Índia i els Estats Units. I, com és evident, una mitigació real de les causes del canvi climàtic requereix un acord de la generalitat dels països del món, que potser esdeveniments futurs, portadors de danys no menors, acabaran per imposar. Mentre això no succeeixi, només hi haurà la possibilitat d'adaptar-nos a conviure en una nova realitat i prendre totes aquelles mesures destinades a minimitzar les dificultats que previsiblement esdevindran, les quals haurien de sumar-se als desitjables acords de mitigació del canvi climàtic i que, en cap cas, no poden representar una alternativa real a aquets acords que, no per urgents, semblen de

propera aplicació. La primera i més important causa de risc per a la salut de les persones, particularment a Catalunya, raurà, sens dubte, en l'increment de les temperatures, sobretot de la freqüència i intensitat de les onades de calor. També l'alteració de la presència relativa d'alguns components atmosfèrics, com la disminució de la concentració d'ozó a l'estratosfera i la seva formació, i l'excessiu increment episòdic a la baixa troposfera, juntament amb altres gasos i partícules de generació antròpica, constitueixen riscos directes i indirectes per a la salut derivats del canvi climàtic, així com la possible intensificació d'episodis meteorològics i climàtics extrems. D'altra banda, l'escalfament general i la possible modificació d'altres paràmetres climàtics poden facilitar la difusió de malalties infeccioses transmeses per vectors, ocasionar fallides en la producció d'aliments i disponibilitat d'aigua, i provocar una elevació del nivell del mar, efectes, tots ells, capaços d'alterar l'estat de benestar i salut. Les mesures d'adaptació hauran de formular-se per a cada territori, tenint en compte, a més de l'abast dels canvis estrictament de caire climàtic, l'educació i les disponibilitats econòmiques i sanitàries de les societats que hi resideixen. Els augments de les temperatures a Catalunya estimats a partir d'anàlisis dels informes de l'IPCC i d'altres documents de Calbó *et al.* (2009) preveuen uns increments no superiors a 2,0 °C entre 2011 i 2040 i d'entre 4,0 °C i 5,5 °C per als darrers decennis del segle XXI al conjunt del país, que només seran lleugerament inferiors als territoris costaners. Aquests creixements suposen que probablement s'acompliran les hipòtesis formulades en l'anomenat escenari A2 dels definits en l'informe de l'IPCC de 2007, el qual comporta un creixement demogràfic i econòmic heterogeni i el manteniment de les desigualtats existents entre les diferents regions del planeta. Els increments termomètrics assenyalats per a Catalunya seran ostensiblement més acusats a l'estiu que a les estacions intermèdies i, sobretot, a l'hivern. Sembla molt probable que les previsions basades en aquest escenari siguin més realistes que altres establertes en escenaris que, com l'anomenat B1, pressuposen una reducció en el consum de combustibles fòssils i la introducció de tecnologies netes i eficients. Pel que

fa a les precipitacions, Calbó (2009) considera que, a les darreries de la present centúria, podrien patir un descens de l'ordre del 5 al 15% per al conjunt del país, una disminució que seria més acusada a l'estiu, fins xifrar-se en un 35-40% a les comarques interiors i a la franja costanera, però més reduïda a l'hivern, quan fins i tot seria possible que els Pirineus i territoris centrals acabessin experimentant un increment de la pluviometria. Les possibles reduccions de les precipitacions hauran de comportar danys econòmics importants, però el país comptarà amb mitjans per garantir el subministrament de l'aigua necessària per al consum i manteniment de l'estat sanitari de la població i evitar que acabi per afectar la seva salut. De tota manera, l'evolució de les precipitacions es produirà a un ritme que haurà de permetre preveure amb suficient temps la realització de les activitats que s'escaiguin per assegurar aquest subministrament. Molt més difícil sembla fer front a l'increment de les temperatures, donada la manca d'una decisiva determinació en la mitigació del vessament a l'atmosfera de gasos amb efecte d'hivernacle. Encara que no sigui possible quantificar els riscos de tot tipus que esdevindran a mida que s'intensifiqui l'escalfament general del planeta degut a la incertesa de les emissions futures, l'estimació en termes probabilístics de les seves possibles conseqüències és una informació que han de menester els responsables polítics i socials a l'hora de prendre decisions encaminades a eliminar o reduir els danys i perills previsibles (Schneider i Lane, 2006).

21.2. Canvi climàtic i efectes de les temperatures en la salut

El desenvolupament òptim de les funcions orgàniques dels éssers humans, per la seva condició d'homeotermes com tots els mamífers, requereix, entre d'altres paràmetres ambientals, el manteniment de la temperatura de l'aire dins d'uns determinats llimars. Això no obstant, el sistema fisiològic de les persones adultes i sanes compta amb prou recursos per fer front a fluctuacions termomètriques per sobre i per sota d'aquests llimars, no sense evitar situacions de malestar o d'angoixa i, en casos extrems, lesions de diversa gravetat, fins i tot irreversibles. És per això que

les variacions estacionals i diàries de les temperatures afecten l'estat de benestar i salut, fins el punt de, en situacions extremes, provocar o accelerar processos patològics susceptibles d'acabar amb la vida d'algunes persones, especialment de determinats malalts crònics, ancians i certs individus o grups marginals. Aquestes persones, juntament amb els nens durant la seva primera infància, constitueixen els anomenats *grups de risc*, per la seva limitada capacitat de resistència davant situacions atmosfèriques extremes. Les persones adultes i sanes pràcticament romanen al marge de tot tipus de risc de mort relacionat amb les temperatures de l'aire, però no és impossible que, insòlitàment, alguna d'aquestes persones esdevingui víctima d'un cop de calor, una eventualitat que podria augmentar amb el canvi climàtic. Els possibles efectes dels esdeveniments atmosfèrics i, en primer lloc, de la temperatura formen part de les preocupacions i coneixements clàssics de la medicina (Ballester, 1996).

Tant les variacions termomètriques diàries com les estacionals afecten l'estat de salut, però l'avaluació relativa dels impactes provocats per unes i altres variacions no és simple. El nombre més gran de defuncions i efectes nocius per a la salut sol enregistrar-se a l'hivern, i així ho han destacat innumerable estudis realitzats a diferents països d'Europa (Davis *et al.*, 2004; Healy, 2003), els Estats Units (Kloner, Poole i Perritt, 1999), el Canadà (Ehrmann *et al.*, 2004), la Xina (Pan, Li i Tsai, 1995), Bangladesh (Becker i Weng, 1998) i Nova Zelanda (Cockburn i Salinger, 2001). Les màximes taxes de mortalitat enregistrades a l'hivern als països temperats assoleixen valors clarament superiors, de l'ordre del 10 al 25%, a les mínimes d'estiu, i les causes més importants de mortalitat són les malalties cardiovasculars, les cerebrovasculars, les circulatòries i les respiratòries (Hales, Edwards i Kovats, 2003). La relació del temps atmosfèric amb els ingressos hospitalaris per infart agut de miocardi ha estat destacada per Lee *et al.* (2009). Segons aquest autor, a regions temperades i fredes de Finlàndia, el Regne Unit i els Estats Units, la incidència d'aquestes patologies és màxima a l'hivern, mentre que a diferents àrees subtropicals d'Egipte i del sud dels mateixos Estats Units, el seu esdeveniment és més freqüent a l'estiu.

L'estacionalitat de les malalties cardíques i coronàries, amb un màxim a l'hivern i un mínim a l'estiu, a Minnesota, també ha estat destacada per Gerber *et al.* (2006a). Així mateix, la màxima mortalitat per isquèmia cardíaca al Regne Unit coincideix amb els temps de temperatures més baixes (McGregor, 2004a). A la Comunitat Valenciana, l'ocurrència dels infarts segueix un comportament estacional similar a la de les regions temperades fredes esmentades, i el nombre de víctimes d'infart de miocardi augmenta a l'hivern i disminueix a l'estiu (González *et al.*, 2001). Són molts els treballs que relacionen les temperatures extremadament baixes o extremadament altes amb la freqüència dels infarts de miocardi i les afeccions cardiovasculars en general. La major part destaquen que el nombre d'afectats durant els mesos freds és superior en cada regió als enregistrats a l'estiu. Així, la mortalitat per isquèmia cardíaca a Barcelona entre 1981 i 1991 fou superior a l'hivern que a l'estiu, si bé els nivells de contaminació a l'estació freda foren superiors als dels mesos càlids, llevat de l'ozó (Sáez *et al.*, 2000). En canvi, no falten els estudis que, en determinades regions, detecten que la seva freqüència és més gran a l'estiu i àdhuc els que troben una relació significativa entre el nombre de pacients i la pressió atmosfèrica i els vents forts, però no amb la temperatura o la neu (Goerre *et al.*, 2007). En definitiva, els nombrosos estudis existents deixen fora de dubtes que tant les temperatures més baixes de l'hivern com les més altes de l'estiu poden incrementar el risc d'infart de miocardi. Tanmateix, segons ha destacat recentment Bhaskaran *et al.* (2009), per més que, indubtablement, les persones d'edat avançada i determinats malats crònics siguin més vulnerables que la resta de la població, encara és necessari que noves recerques clarifiquin la magnitud dels efectes de les temperatures atmosfèriques sobre la salut i arribin a precisar quines poblacions i individus són més vulnerables. Una causa particular de mort com és el suïcidi no sembla mostrar relació amb temperatures manifestament altes o baixes, ja que molts estudis destaquen l'existència d'un màxim estacional de traspassos d'aquest tipus a la primavera, fet que relacionen amb el moment de l'increment de les temperatures, quan normalment es mantenen al dessota

dels màxims anuals d'estiu, per la qual cosa sembla que l'estacionalitat dels suïcidis sigui deguda a altres motius (Dixon *et al.*, 2007).

El reconeixement de l'estacionalitat de bon nombre de malalties no és nou. Es remunta a temps d'Hipòcrates i Galè, però els mecanismes subjacents de transmissió encara no són prou compresos (Fisman, 2007). Això no obstant, les diferències entre les taxes de mortalitat estacionals, tot i mantenir-se suficientment clares, han experimentat una important reducció durant el segle xx, sobretot les referents a les defuncions entre infants i les provocades per malalties contagioses que eren, unes i altres, més freqüents a començaments de segle, mentre que a finals de la centúria i actualment són les patologies cròniques les causes predominants de les morts. Per descomptat que l'explicació de la disminució de les diferències entre les taxes de mortalitat estacional rau en les millores mèdiques, sanitàries i socials (Carson *et al.*, 2006). Justament, aquests avançaments expliquen la tendència decreixent de les defuncions per malalties cardiovasculars causants de no poques morts (Gerber *et al.*, 2006b). Malgrat que les diferències entre les taxes estacionals de mortalitat hagin disminuït durant la segona meitat del segle passat, sobretot en els darrers decennis, encara romanen lluny de xifrar-se en quantitats equivalents o similars (Lerchl, 1998; Gemmell *et al.*, 2000), i no sembla que aquestes diferències arribin a desaparèixer en un futur proper o no allunyat, a pesar que l'actual procés d'escalfament global podria facilitar-ne la reducció.

Les representacions gràfiques de les dades diàries de mortalitat i temperatura solen poder-se ajustar amb corbes que suggereixen la forma d'una «V» (Pajares *et al.*, 1997), d'una «U» (Pan *et al.*, 1995), o, millor, d'una «J» escrita a al revés, de manera que la branca de l'esquerra sigui més llarga que la de la dreta (Curriero *et al.*, 2002). Formes similars han estat destacades en diferents estudis (Basu i Samet, 2002; O'Neill, Zanobetti i Schwartz, 2003; Medina-Ramón i Schwartz, 2007; Barnett, 2007; Ren *et al.*, 2008). La part esquerra de cada corba, descendent, reflecteix una disminució de la mortalitat a mida que augmenten les temperatures, mentre que la part dreta, ascendent, evidencia un progressiu

increment del nombre de morts a mida que augmenten les temperatures. Òbviament, la base o part inferior d'aquest tipus de corbes indica les temperatures corresponents als dies que enregistren unes taxes de mortalitat relativament més baixes (McMichael *et al.*, 2008). També mostra un aspecte semblant a les corbes assenyalades, la representació de l'ajust polinòmic del nombre diari de morts per milió d'habitants a Barcelona entre 1990 i 2003, i les temperatures mitjanes enregistrades a l'observatori Fabra, únic dels disponibles dins la ciutat i els seus voltants que compta amb dades fiables des que inicià les seves activitats a començament del segle xx i no ha sofert canvis importants en el seu entorn més immediat (figura 1). D'acord amb aquesta corba, les taxes de mortalitat predominantment més baixes s'enregistren els dies en què les temperatures mitjanes de l'observatori Fabra es mantenen a l'entorn dels 20 °C, mentre que als diferents barris de la mateixa ciutat de Barcelona, prop del nivell del mar i clarament al dessota dels 412 m d'altitud de l'observatori, se situen al voltant

d'uns dos graus per sobre. A partir d'aquests valors de mortalitat relativament més baixa, tant una disminució com un augment de les temperatures insinua un increment de les respectives taxes de mortalitat. La branca descendent de la corba té una llargada clarament superior a la branca ascendent, la qual cosa evidencia que el nombre de dies amb temperatures inferiors a les enregistrades els dies de mortalitat generalment més baixa ultrapassa ostensiblement al de dies que assoleixen temperatures més altes. A més, cal destacar que les temperatures que semblen més favorables per a la salut humana a Barcelona, les assolides a la ciutat els dies quan a l'observatori Fabra es xifren en mitjanes d'uns 20 °C, són netament superiors a les mitjanes anuals, de només 15,5 °C, segons els càlculs realitzats amb les dades termomètriques de l'al·ludit període 1990-2003.

Malgrat que les corbes representatives de la relació entre temperatures i mortalitat al·ludides en gran nombre de treballs referents a regions ben diferents mostrin formes semblants, els

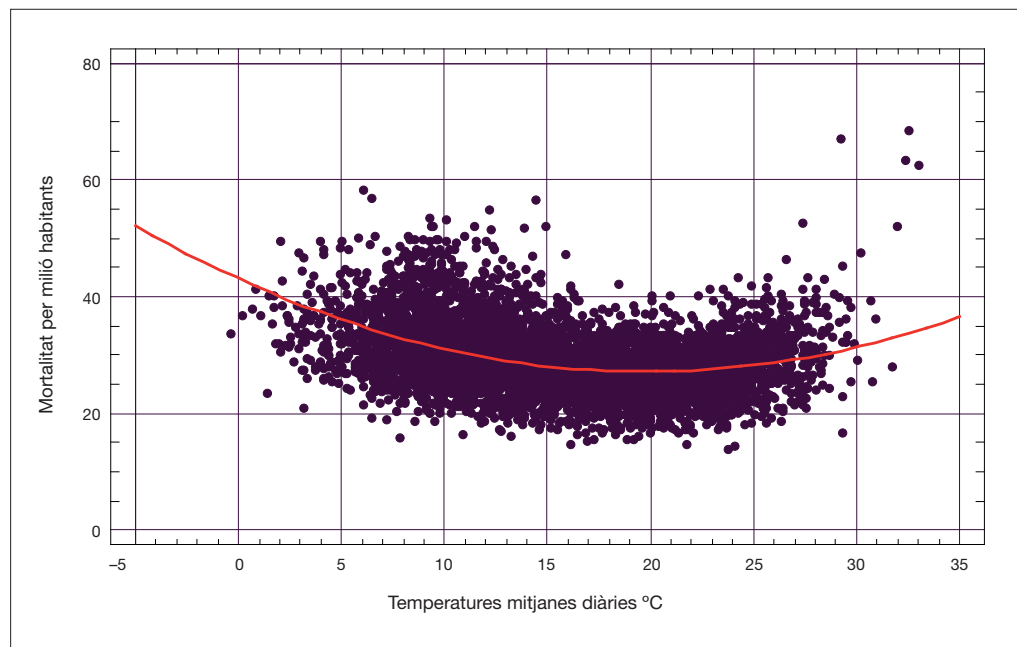


Figura 1. Relació entre les temperatures mitjanes diàries de l'observatori Fabra i el nombre de morts per milió d'habitants enregistrats a Barcelona durant el període 1990-2003. Ajust mitjançant una corba polinòmica de segon ordre.

Font: Basat en dades facilitades pel Servei Meteorològic de Catalunya i la Direcció General de Recursos Sanitaris de la Generalitat de Catalunya.

efectes del clima i el temps atmosfèric en la mortalitat difereixen sensiblement d'unes comunitats a unes altres, de manera que els provocats en un determinat país pot ser que no siguin els mateixos o similars als ocasionats a un altre (Anderson i Bell, 2009). L'abast dels impactes ocasionats per les temperatures varien segons el nivell educatiu, les disponibilitats econòmiques, els equipaments de les llars i la densitat de la població (O'Neill *et al.*, 2003; Medina-Ramón i Schwartz, 2007). Algunes de les diferències entre els efectes en la salut relacionats amb les temperatures fins i tot semblen paradoxals. Així, les temperatures fredes poden ocasionar més danys a països del nord d'Europa, tradicionalment preparats per fer front a tipus de temps freds, que no pas a regions mediterrànies amb poblacions normalment menys equipades per suportar fortes davallades termomètriques (Eurowinter Group, 1997), mentre que un estudi referit a 11 ciutats de la costa est dels Estats Units destaca els efectes de la calor són més apreciables al nord-est que al sud-est (Curriero *et al.*, 2002). En conseqüència, no cal esperar que uns efectes d'abast general o aplicables a grans dominis continentals s'acompleixin a cada territori de limitada extensió superficial i, en canvi, sembla convenient tractar per separat els possibles impactes del fred i de la calor en la salut dels habitants de Catalunya.

21.2.1. Els episodis i les onades de fred

La limitada capacitat que tenen les persones i la resta dels éssers homeotèrmics de mantenir pràcticament constant la temperatura del seu organisme, requisit imprescindible per al normal desenvolupament de les seves funcions orgàniques, comporta riscos per a la salut quan les temperatures de l'aire on viuen enregistren valors extrems. La coincidència de les taxes màximes de mortalitat amb els mesos més freds es deu a la dificultat o incapacitat que té l'organisme humà per impedir un descens del calor orgànic susceptible de comprometre aquestes funcions quan les temperatures són extremadament baixes. Sota condicions d'aquest tipus, la reacció orgànica provoca una vasoconstricció perifèrica que modifica el flux sanguini a fi i efecte de reduir les pèrdues de calor a través de la pell i afavorir la circulació de la sang pels teixits interiors, de ma-

nera que romanguin garantides les funcions vitals. L'eficàcia d'aquesta resposta és limitada i, sota temperatures excepcionalment baixes, pot esdevenir un risc, ja que l'increment de la pressió sanguínia, conseqüent amb la vasoconstricció, pot desencadenar fallades cardiaques, la probabilitat de les quals ve afavorida per l'alteració de determinats components de la sang i, particularment, per l'augment de la seva facultat de coagulació. Les reaccions fisiològiques front les baixes temperatures inclouen una reducció del volum de la sang circulant i, en conseqüència, del subministrament de l'oxigen necessari per al manteniment de funcions orgàniques essencials (Thomas, 2004). La coagulació de la sang i els riscos de fallada cardiovascular també resulten potenciats pel desencadenament o agreujament de diferents afeccions respiratòries amb el fred (Woodhouse *et al.*, 1994).

La grip i certes patologies freqüents a l'hivern, en desacord amb una creença popular, no mantenen una evolució directa i estreta amb les temperatures baixes (Hales *et al.*, 2003; Langford i Bentham, 1995). La freqüència preponderant d'aquestes afeccions a l'hivern només indirectament depèn del fred. Les baixes temperatures contribueixen a la concentració de persones dintre d'àmbits tancats, mancats de suficient ventilació, facilitant així l'encomanament de tot tipus de malalties contagioses. A més, el descens de la humitat a l'hivern, determinat per les baixes temperatures, facilita la transmissió de no pocs microorganismes, entre els quals cal incloure el virus de la grip (Noji, 1994).

Els impactes del fred en la salut humana i, especialment, en la mortalitat, han estat tractats en multitud de treballs (Kunst, Looman i Mackenbach, 1993; Donaldson *et al.*, 1998; Keatinge i Donaldson, 2001; Mitchell, 2001; Ha, Yoon i Kim, 2009). Una recerca recent sobre els efectes del fred en 15 ciutats europees (Analitis *et al.*, 2007) confirma que les temperatures de l'estació freda es xifren en valors inversament associats amb la mortalitat i que els efectes d'aquestes temperatures esdevenen més acusats a les ciutats menys fredes del sud. La relació inversa entre temperatures baixes i mortalitat és plenament coherent amb les aportacions d'estudis anteriors dedicats a diverses ciutats dels Estats Units

(Curriero *et al.*, 2002; Braga, Zanobetti i Schwartz, 2002) i d'Europa (Healy, 2003; Eurowinter Group, 1997). El treball d'Healy (2003) subratlla també que les taxes d'excés de mortalitat són més altes als països del sud, mentre que el realitzat per Eurowinter reconeix que els efectes de les temperatures baixes en afeccions respiratòries certament són més acusats als països meridionals més càlids, però no aprecia diferències prou clares quant a malalties cardiovasculars. Aquests i molts altres estudis han comprovat l'existència d'una relació inversa entre la mortalitat i les temperatures baixes, sense haver detectat cap llinard termomètric al dessota del qual pugui observar-se un ostensible increment de la mortalitat. A més, la majoria de les publicacions existents coincideixen a afirmar que les persones més sensibles al fred són les d'edat avançada i determinats malalts crònics i individus o grups marginals; és a dir, essencialment, els components dels esmentats grups de risc. Només un treball referent a sis ciutats americanes considera que els impactes del fred en la mortalitat són més acusats en persones de menys de 65 anys (O'Neill *et al.*, 2003).

A Catalunya i als països desenvolupats en general, cal excloure dels grups de risc els nens, ja que normalment gaudeixen de suficients mitjans per afrontar tota mena de riscos relacionats amb el fred. La vulnerabilitat al fred depèn, a més, òbviamment, de les temperatures i de la sensibilitat fisiològica de cada persona, de factors ambientals i socioeconòmics (Hales *et al.*, 2003). A països més freds que Catalunya, s'ha destacat la incidència d'aquests factors i, particularment, de les condicions de l'habitatge i manca de béns, que castiga principalment a la gent gran, si bé només es reconeix una lleugera relació entre l'escassetat de recursos i la mortalitat (Mitchell, 2001).

L'avaluació dels efectes de les temperatures sobre la mortalitat no és una tasca simple per manca de suficient informació. Les dades sobre les causes de mort al·ludeixen a patologies concretes o esdeveniments agressius concrets, sense referència a una possible relació amb les temperatures o altres condicions del medi ambient. És per això que l'estimació dels efectes de les temperatures extremes, excepcionalment baixes o

altes, sol realitzar-se mitjançant el càlcul de l'anomenat *excés de mortalitat* o diferència entre la mortalitat enregistrada durant un termini determinat i la mitjana calculada per a les mateixes dates, a partir de dades sobre una sèrie temporal relativa a anys precedents, que no ha de ser massa llarga per tal d'evitar que canvis aliens a les condicions atmosfèriques, com són els referents a les disponibilitats sanitàries i socials o a l'estructura demogràfica. A més, els possibles efectes del fred sobre la mortalitat generalment es manifesten amb un cert retràs respecte de les temperatures que els han pogut provocar; així, són relativament freqüents els episodis portadors de temperatures gèlides capaços de desencadenar o agreujar processos patològics que no finalitzen amb la vida dels pacients fins dies després, sota unes condicions atmosfèriques diferents a les inicials. Tot això implica una dificultat afegida per a una avaluació acurada dels efectes de les temperatures excepcionalment baixes sobre la salut que ha d'establir-se a partir de l'aplicació de models estadístics que integrin la màxima informació disponible. L'al·ludit estudi d'Analitis *et al.* (2008) sobre 15 ciutats europees, entre les quals inclou Barcelona, estima variacions de la mortalitat per a tres grups d'edat, de 15 a 64 anys, de 65 a 74 i de més de 74, en relació al descens d'1 °C de la temperatura mínima aparent, que depèn, a més de la temperatura de l'aire, de la del punt de rosada, expressió indirecta de la humitat atmosfèrica. Segons aquest treball, el descens de tant sols 1 °C, podria provocar un increment apreciable de la mortalitat per causes naturals en els dos grups de més edat, mentre que els més joves no en resulten afectats, com tampoc semblen castigats per decessos respiratoris, els quals experimenten un fort augment entre els grups de més de 65 anys. En canvi, el descens de les temperatures sembla responsable d'un increment de la mortalitat cardiovascular a tots tres grups d'edat, de manera destacada en els dos de més edat. Finalment, la mortalitat cerebrovascular només esdevé sensible a la disminució de les temperatures entre les persones d'edat superior a 75 anys. El mateix estudi mostra increments de la mortalitat similars per a la ciutat de València, però generalment més apreciables que a Barcelona, llevat dels referents a la morta-

litat cerebrovascular, només apreciable a Barcelona entre persones més grans de 75 anys, i, a València, sorprenentment, tan sols entre els menors de 65 anys. Les representacions gràfiques dels resultats obtinguts en el mateix treball per a altres ciutats més fredes que Barcelona o València, com són París, Praga i Estocolm, fan palesa una general menor incidència del davallament de les temperatures en l'increment de les corresponents taxes de mortalitat que la suggerida per a Catalunya i el País Valencià pels gràfics de les seves respectives capitals. Això està en coherència amb estudis anteriorment al·ludits que destacaven que els efectes del fred sobre la salut humana són més notoris a unes ciutats relativament càlides d'Europa (Healy, 2003; Eurowinter Group, 1997) i els Estats Units (Curriero *et al.*, 2002; Braga *et al.*, 2002) situades a latituds relativament baixes, que a unes altres més fredes situades a superior latitud. D'altra banda, una recent publicació ha demostrat que la relació negativa entre les temperatures baixes i els infarts de miocardi no és exclusiva de l'hivern, i suggereix l'existència d'un efecte nociu dels davallaments termomètrics acusats encara que es produeixin a l'estiu, de manera que un descens extraordinari o excepcional pot esdevenir més nociu que el propi valor absolut de les temperatures (Wolf *et al.*, 2009).

En definitiva, no seria prudent confiar que un increment moderat de les temperatures comportaria beneficis pel que fa a la salut de la població de Catalunya a l'hivern, al disminuir els impactes del fred. En primer lloc, tot fa pensar que el canvi climàtic provocarà augments termomètrics més propers als previstos pels escenaris més pessimistes que aquells altres que, com el B1, vaticinen increments moderats. Tot i això, semblaria agosarat esperar un davallament significatiu dels efectes del fred, fins el punt de preveure reduccions de la mortalitat durant l'hivern estimades en xifres superiors o similars als increments esperats durant els mesos més càlids, com apunten alguns treballs prou coneguts (Langford i Bentham, 1995; Guest *et al.*, 1999). D'altra banda, cal destacar, d'acord amb estudis esmentats, que justament els efectes del fred són més efectius a països relativament càlids de l'Europa meridional que als més freds del

continent, i que un increment de les temperatures no exclou l'esdeveniment d'episodis freds capaços d'afectar negativament la salut. Treballs realitzats el darrer decenni del segle xx ja pronosticaven només lleugeres disminucions de mortalitat provocada pel fred (Kalkstein, 1993) i àdhuc un cert augment de les taxes de decesos a l'hivern (Kalkstein i Greene, 1997). A més, segons ha fet palès el treball de Wolf *et al.* (2009), els descensos sobtats i intensos de les temperatures representen un risc més gran que els valors termomètrics absoluts davant el desencadenament de determinades malalties com és l'infart de miocardi, sovint de pronòstic irreversible. Això significa que si el canvi climàtic ha de comportar, a més de l'arxiconegut escalfament general del planeta, un increment de la variabilitat climàtica, tal com assenyalen els informes de l'IPCC i diferents publicacions (McMichael, Woodruff i Hales, 2006a), cal esperar davallades importants de les temperatures a curt termini, les quals haurien de representar riscos per a la salut en qualsevol escenari.

En definitiva, els tipus de temps freds o, simplement, relativament freds representen un problema de salut a diferents ciutats d'Europa i Amèrica, de característiques climàtiques, culturals i socials ben diferents que no haurien d'oblidar les autoritats i responsables sanitaris, preocupats essencialment per fer front als efectes de l'escalfament general i els episodis excepcionalment càlids, coneguts com a onades de calor (Analitis *et al.*, 2008).

Sota qualsevol escenari possible, Catalunya continuarà patint els efectes del fred, de no infreqüents davallades termomètriques i d'espòndiques onades de fred i, a més, una probable intensificació de la variabilitat termomètrica. Per més que la gran majoria, la quasi totalitat de la població, pugui fer front als efectes dels episodis extraordinàriament freds, seria convenient sistematitzar i intensificar la informació que ja es fa pública pels mitjans de difusió, i organitzar un sistema de suport destinat a les persones que manquen de mitjans, com persones d'edat avançada que viuen soles en condicions precàries, en nombre creixent per l'envelliment de la població, així com grups marginals de població i persones sense sostre.

21.2.2. L'impacte de l'escalfament i les onades de calor

A diferència dels efectes de les temperatures extremadament baixes sobre la salut, i particularment sobre la mortalitat, els quals perduren fins un parell de setmanes, els provocats a conseqüència de l'esdeveniment d'episodis excepcionalment càlids són immediats o es manifesten, com a màxim, dins d'un reduït nombre de dies (Hales *et al.*, 2003). Els més greus i evidents dels efectes d'aquests episodis són els anomenats *cops de calor*, als riscos dels quals estan sotmeses les persones exposades a temperatures extraordinàriament altes, sobretot si fan activitats físiques de certa intensitat mentre els termòmetres assoleixen valors d'aquest tipus, circumstància sota la qual és possible l'adveniment de la mort immediata o en un curt espai de temps. Encara que sigui reduït el nombre de morts directament atribuïbles a la calor, les defuncions per trastorns cardiovasculars i respiratoris desencadenats o agreujats per temperatures extremadament altes són més freqüents que les esdevingudes arran de cops de calor. En tot cas, els increments de la mortalitat relacionats amb la calor es manifesten mentre les temperatures mantenen uns valors ostensiblement superiors als de les mitjanes dels dies més càlids de l'any, o dins dels dies immediatament posteriors. A més, els efectes de les temperatures en l'organisme humà sovint poden esdevenir emmascarats i àdhuc alterats per efecte de la contaminació. O'Neill *et al.* (2005) assenyalen un lleuger efecte de confusió provocat per l'ozó i les partícules. Altres autors han detectat un moderat grau de confusió provocat per l'ozó, però cap efecte modificador atribuïble a l'ozó o a les partícules (Basu, Feng i Ostro, 2008a; Zanobetti i Schwartz, 2008), o bé una significativa modificació provocada per les partícules en determinats malalts (Ren, Williams i Tong, 2006), o per l'ozó (Ren *et al.*, 2008).

No és fàcil determinar en quina mida contribueixen les temperatures extraordinàriament altes a l'adveniment de processos patològics amb resultat de mort. Més dificultats duria tot intent d'esbrinar el paper corresponent a la calor en la generació d'estats de fatiga i angioxa, així com la subseqüent pèrdua de capacitat de reacció, responsables de no pocs accidents greus els dies

més opressius de l'estiu. La diversitat de causes de mort relacionades amb la calor i la difícil, rara o inexistent identificació de la intervenció de la calor en l'enregistrament de les causes de les defuncions impossibiliten determinar el nombre precís de víctimes en cada episodi de calor, raó per la qual solen estimar-se com a tals, de manera similar a les provocades pel fred, les constituents de l'anomenat *excés de mortalitat*, equivalent a la diferència entre les morts esperades o mitjanes i les enregistrades els dies en què les temperatures mantenen uns valors excepcionalment alts. Multitud de treballs referents a diferents països i ciutats d'Europa, Amèrica i Austràlia, han destacat que les temperatures més altes de l'estiu poden provocar un immediat increment de la mortalitat (McMichael *et al.*, 2008b; Medina-Ramón i Schwartz, 2007; Basu, Feng i Ostro, 2008; Dessai, 2002; Pattenden, Nikiforov i Armstrong, 2003; Stafoggia *et al.*, 2006; Bell *et al.*, 2008; Vaneckova *et al.*, 2008). Aquest increment coincideix en el temps amb els dies de més calor, preferentment si formen part d'una onada de calor, o els immediatament posteriors. En general, s'entén com onada de calor tot aquell episodi de sobtat i intens increment termomètric, provocat per la invasió d'una massa d'aire calent, que afecta àrees relativament àmplies i sol remetre en un termini comprés entre un pocs i no més de deu a quinze dies. Tanmateix, no existeix un llindar universal o d'àmplia acceptació quant als llindars que han d'ultrapassar les temperatures, ni quant a la durada de tals episodis perquè mereixin ser reconeguts com a constituents d'una onada de calor. Els llindars, però, solen fixar-se amb relació a un determinat percentil no inferior al 95 o fixat en una quantia que superi a la mitjana de cada dia en almenys cinc o sis graus. Això significa que el seu valor depèn del clima de cada lloc, circumstància que és imprescindible tenir en compte, ja que temperatures potencialment agressives per a la salut en un país fred, de latituds altes, poden resultar confortables en regions càlides de latituds baixes. Així, mentre els meteoròlegs canadencs consideren, en les seves previsions, onades de calor els episodis de tres o més dies consecutius amb temperatures màximes superiors a 32 °C, els holandesos cataloguen com a tals l'esdeveniment d'almenys cinc dies seguits

amb temperatures màximes superiors a 25 °C, sempre que tres o més ultrapassin els 30 °C; responsables mèdics de Dallas defineixen una onada de calor com la persistència de temperatures per damunt de 37,8 °C tres o més dies consecutius (Hales, Edwards i Kovats, 2003). Definicions sota criteris similars són vàlides per a diferents àrees, però no intercanviables per xifrar-se en valors de desigual significació en regions de climes diferents. Efectivament, els llindars termomètrics per sobre dels quals pot apreciar-se un destacable increment de la mortalitat relacionada amb la calor varien considerablement d'unes ciutats a unes altres (Curriero *et al.*, 2002; Semenza *et al.*, 1999). Als Estats Units, aquest llindar ha estat estimat en 32 °C per a la ciutat septentrional de Detroit i en 36 °C per a la meridional de Saint Louis (Kalkstein i Valimont, 1986). Estudis realitzats en diferents ciutats de la península ibèrica han assenyalat increments apreciables del nombre d'òbits a partir d'increments de les temperatures màximes diàries per sobre de valors que, per a l'Estat espanyol, oscil·len entre els 26,2 °C de La Corunya i els 41,2 °C de Còrdova (Díaz, Linares i García-Herrera, 2005) i a Lisboa es xifren en 33,5 °C (García-Herrera *et al.*, 2005). A Barcelona, aquest llindar pot estimar-se al voltant de 33,0 °C. Un criteri modelic per ser adoptat arreu com a definició d'onada de calor és proposat per l'European Climate Assessment (2007), segons el qual una onada de calor comprèn la successió de sis o més jornades consecutives amb unes temperatures diàries màximes superiors en no menys de 5 °C de la mitjana *normal* de les temperatures màximes corresponents a cada dia i mes, calculades a partir d'observacions realitzades per a finestres de cinc dies, la de la respectiva jornada de referència i les de les dues precedents i les dues següents, de cadascuna de les dates del període de 1961-1990.

Davant la manca d'una definició universal, a l'hora de relacionar els efectes de les temperatures extremadament altes en la mortalitat, sovint s'entén com a onada de calor tot aquell episodi atmosfèric caracteritzat per unes temperatures suficientment altes com per provocar o contribuir a un increment del nombre d'òbits i d'emergències hospitalàries. Els estudis que es

publicaren arran les onades de calor que patiren àmplies àrees dels Estats Units el juliol de 1995 feren evident els impactes d'aquests episodis de calor extrema sobre la mortalitat (Changnon, Kunkel i Reinke, 1996; Kunkel *et al.*, 1996; Semenza, 1996; Semenza *et al.*, 1996; Karl i Knight, 1997; Whitman *et al.*, 1997). Una de les ciutats més castigades fou Chicago, on les morts atribuïdes a la calor es xifren entre 500 i 800, segons els treballs consultats, i les emergències hospitalàries computaren 3.300 ingressos. El mateix any 1995, Anglaterra també patí els efectes de la calor, i Londres enregistrà un increment de la mortalitat del 16,1% durant les onades de calor patides els mesos de juliol i agost (Rooney *et al.*, 1998). Anys abans, el 1987, una onada de calor castigà Atenes amb un increment de la mortalitat per causa de la calor avaluat en 2.000 persones (Katsouyanni *et al.*, 1988) i, el 1994, una forta onada de calor provocà a Bèlgica un acusat increment dels traspassaments entre persones grans (Sartor *et al.*, 1995). L'Índia pateix les conseqüències d'intensos episodis de calor tots els anys; a un dels més severos s'atribuí la provocació de 2.600 morts, nombre que, segons fonts no oficials, fou de quasi el doble (Kumar, 1998).

Particular atenció mereix l'anàlisi dels efectes de les fortes onades de calor que patiren la major part dels països d'Europa l'estiu de 2003, amb temperatures màximes de fins 35-40 °C en repetides jornades, especialment els mesos de juny i agost. Els territoris situats entre el nord de les penínsules ibèrica i itàlica i el centre del continent, foren els més castigats i hagueren de suportar episodis de calor extrema durant tota l'estació, però fou justament l'agost de 2003, quan gairebé tot el continent europeu patí una onada de calor sense precedents, el que enregistrà el més gran impacte sobre la mortalitat mai no conegut fins aquell any (Schär *et al.*). La incertesa de les estimacions dels increments de la mortalitat atribuïbles a les temperatures extremes i la manca de dades fiables, ocasionalment per raons polítiques, sovint subestimen aquest efecte i ofereixen valoracions discrepants. És per això que, segons les fonts consultades, la metodologia emprada i el període de referència, les estimacions del nombre de morts provocats per l'onada de calor de 2003 a Europa difereixen ostensible-

ment. Segons Kovats i Jendritzky (2006), oscil·là entre 27.000 i 40.000, però Robine *et al.* (2008), fent-se ressò d'informacions procedents d'instituts estadístics publicades a la premsa, situa l'excés de mortalitat virtualment imputable a la calor en més de 70.000 defuncions de les quals, 20.089, s'enregistraren a Itàlia, 19.490 a França, 15.090 a Espanya i 9.355 a Alemanya. Nogensmenys, Martínez-Navarro, Simón-Soria i López Abente (2004), a partir dels enregistraments procedents de totes les capitals de província d'Espanya i d'una mostra aleatòria de 107 municipis rurals, estimaren l'excés de mortalitat en 3.166 persones, quantitat que representa un increment del 7,9% respecte de la mortalitat esperada, mentre assignaven a Barcelona un excés de 665 morts, quantitat que representa un 16,6% més que els esperats; a Girona, un increment de 63 defuncions, amb un augment relatiu del 16,6%; a Lleida, 39 òbits, un 8,0% més dels esperats i a Tarragona 67, un 16,7% més que en anys precedents. Un estudi posterior en el qual participaren dos d'aquests autors, mostrava per a aquestes mateixes ciutats quantitats d'increment de la mortalitat similars, llevat de la corresponent a Lleida que, amb un total 76 morts més dels esperats, assolí un increment relatiu del 16,9%, percentatge similar als indicats per a les altres tres ciutats (Simón *et al.*, 2005). Tot i que un recent treball redueix el nombre de morts per efectes de les onades de calor de 2003 a Barcelona, en tenir en compte l'acció dels contaminants fotoquímics, manté l'estimació de les defuncions provocades per la calor excepcional d'aquest any per sobre de 500 (Tobias *et al.*, 2010), una quantitat prou important perquè, juntament amb els percentatges al·ludits, clarament superiors als del conjunt de l'Estat, constitueixen una evident manifestació de la intensitat de les esmentades onades. D'altra banda, una de les raons per les quals la mortalitat enregistrada l'estiu de 2003 a Barcelona assolí unes quantitats com les assenyalades, fou la manca de grip l'hivern precedent (Sunyer, 2008), doncs la baixa mortalitat d'hivern pot incrementar el nombre de persones d'edat avançada susceptible de risc de morir amb les temperatures altes del següent estiu (Stafoggia *et al.*, 2009). Les condicions termomètriques de l'estiu de l'any 2003 foren realment excepcionals

a Europa en general, i particularment a Catalunya. En efecte, Barcelona patí l'estiu més calorós des que l'observatori Fabra inicià els enregistraments meteorològics a començaments del segle xx. Adoptant com a criteri de definició d'onada de calor el proposat per l'European Climate Assessment (2007), Barcelona sofri quatre onades de calor durant l'estiu de 2003, dues al mes de juny i dues més a l'agost. Amb el mateix criteri, només tres episodis càlids succeïts els 13 anys anteriors, a raó d'un cadascun dels anys 1990, 2001 i 2002, de 5, 7 i 9 dies de durada respectivament, podrien ser considerats com a onades de calor. La contundència de les onades de calor de l'estiu de 2003 en l'exacerbació de la mortalitat resta reflectida a la figura 2. Les taxes de mortalitat màximes mantenen una clara relació amb els episodis més càlids. Així, l'evolució del nombre de morts mostra increments en consonància amb les dues onades de calor del mes de juny, una de 12 dies entre el dia 6 i el 17, i l'altra de 5, entre el 18 i el 23. La breu interrupció entre les dues coincideix amb un retrocés de les defuncions. Durant el mes de juliol, no es produí realment cap onada de calor d'acord amb el criteri esmentat, però sí determinats dies amb temperatures pròpies d'un episodi d'aquest tipus en nombre inferior a cinc dies consecutius, especialment a la segona dècada del mes, en correspondència amb els quals, la mortalitat experimentà increments relatius. Però, sens dubte, la màxima mortalitat ocorregué durant la primera onada de calor esdevinguda a l'agost, entre els dies 2 i 16, la més severa de l'estiu, en tant que la segona onada, entre els dies 22 i 27, coincidí amb un nou màxim relatiu de defuncions. El lleuger descens de la mortalitat els últims dies d'agost possiblement sigui conseqüència, més que del moderat descens de les temperatures, de la prèvia reducció del nombre de components dels grups de risc, víctimes en bona part d'una mort anticipada els dies precedents, si bé és possible que només el 20% de l'increment de les taxes de mortalitat entre persones més grans de 75 anys provocat per calor extrema pugui atribuir-se a desplaçaments de morts que, àdhuc en situacions de confort termomètric, es produiria dins de curts terminis de temps (Koppe i Jendritzky, 2005).

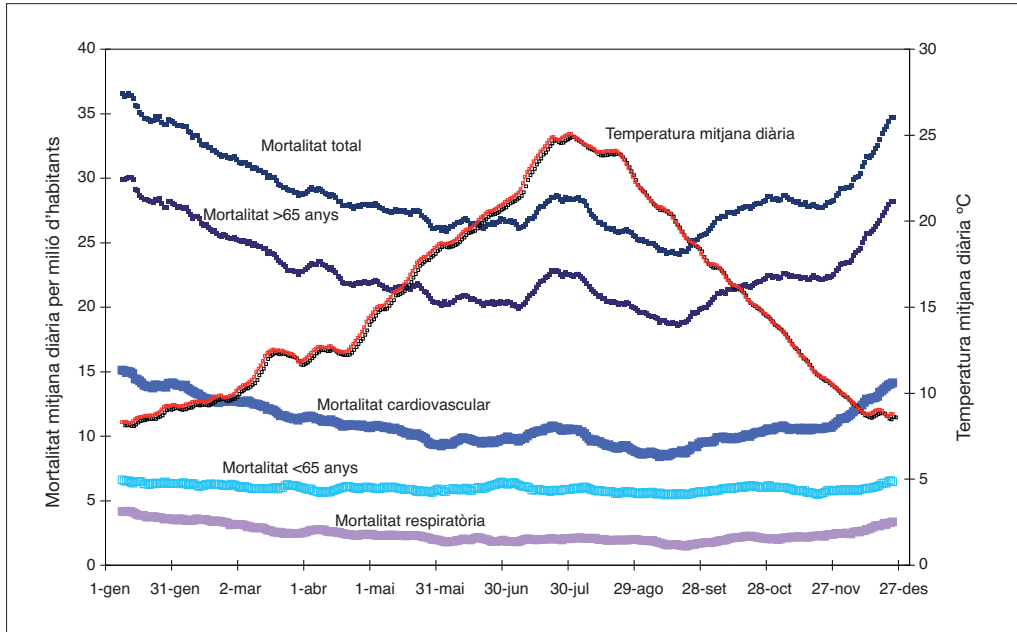


Figura 2. Mortalitat per milió d'habitants a Barcelona i temperatura mitjana diària a l'observatori Fabra. Període 1990-1997 (Suavitització mitjançant mitjanes mòbils centrades cada 15 dies).

Font: Basat en dades facilitades pel Servei Meteorològic de Catalunya i la Direcció General de Recursos Sanitaris de la Generalitat de Catalunya.

Finalment, cal destacar que els impactes de les onades de calor de 2003 en la mortalitat a Barcelona es polaritzaren en els grups de persones de 75 a 84 anys i de 85 i més anys, mentre no sembla que afectaren ni els nens de menys de 15 anys, ni els adults de 15 a 64, ni tampoc la gent gran de 65 a 74 anys, quan la gran majoria de treballs que analitzen els efectes de les temperatures en la mortalitat solen reconèixer lligams entre les temperatures extremes i el nombre de defuncions a partir del 65 anys. En definitiva, sembla que les onades de calor de 2003 produïren un escàs o nul efecte en la mortalitat de persones de menys de 75 anys, però provocaren un dràstic increment de les defuncions entre les de més edat, ostensiblement relacionades amb tots aquells dies que enregistraren temperatures excepcionalment altes (Simón *et al.*, 2005).

21.2.3. Beneficis per a la salut d'una possible mitigació del canvi climàtic

El canvi climàtic, amb tota probabilitat, i d'acord amb el consens pràcticament universal existent

entre els científics, comportarà un increment en la freqüència i intensitat de les onades de calor, així com d'estius més càlids i hiverns més suaus. Els impactes en la salut d'aquestes mutacions que previsiblement s'aniran establint dependran molt de les condicions i circumstàncies de cada territori, però seran principalment negatius (McMichael, Woodruff i Hales, 2006a). Per més que, certament, les taxes de mortalitat hivernals dels països freds i temperats d'Europa i Amèrica ultrapassin actualment les estiuenques (Keatinge *et al.*, 2000; Hajat, Bird i Haines, 2004) i no sigui imputable a mancances en els habitatges (Wilkinson *et al.*, 2004), ja que les baixes temperatures patides fora de casa mantenen una relació inversa amb la mortalitat (Donaldson i Keatinge, 2003), raó per la qual sembla del tot necessari l'establiment de mesures destinades a reduir els efectes del fred, sobretot entre les persones de més edat (Keatinge i Donaldson, 2004), la major part dels estudis publicats a Europa i els Estats Units destaquen l'existència d'un clara relació positiva entre les temperatures altes, particularment les enregistrades sota condicions atmosfè-

riques d'onada de calor. Tots aquests treballs destaquen, a més de la susdita relació entre les temperatures i la morbiditat o mortalitat, la preocupació perquè el canvi climàtic pugui comportar un increment dels riscos provocats per la calor, després que l'escalfament global ja ha començat a afectar la salut i la necessitat d'adoptar estratègies de mitigació d'aquest procés i d'adaptació davant un futur clima més càlid (McMichael, Woodruff i Hales, 2006a). Sense negar els possibles efectes del canvi climàtic, Derbyshire (2006) no creu que els seus efectes siguin insuperables i confia en les actuals possibilitats tecnològiques i les que aportí una innovació continuada per fer front als perills que pugui comportar, argument davant el qual, McMichael, Woodruff i Hales (2006b) addueixen que la reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle constitueix l'autèntica i primera prevenció.

La mitigació del canvi climàtic i especialment del procés d'escalfament global exigiria una reducció significativa de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Les accions encaminades a la consecució d'aquest objectiu comportarien, a més d'aturar o moderar almenys l'actual procés de canvi climàtic, importants beneficis per a la salut com han destacat la desena d'articles publicats l'any 2009 al número 374 de la revista *The Lancet*. Un d'aquests treballs destaca que la reducció de gasos amb efecte d'hivernacle implicaria la presa de decisions i l'aplicació d'accions a quatre camps: producció d'electricitat, transports, producció d'aliments i ús domèstic de l'energia (Haines *et al.*, 2009). Els canvis en la producció d'electricitat, a més d'una reducció en l'emissió d'òxid de carboni a l'atmosfera, hauria de permetre també una disminució de les partícules contaminants a l'atmosfera i, en conseqüència, beneficis importants per a la salut, especialment a països on, com a l'Índia, la contaminació és molt alta (Woodcock *et al.*, 2009). El transport mogut per energia procedent de la combustió de productes fòssils constitueix una altra font important de gasos amb efecte d'hivernacle i de partícules contaminants, de manera que la seva reducció restringiria, a més del vessament de gasos amb efecte d'hivernacle, alguns dels quals, com els òxids de nitrogen, són nocius per a la salut, així com partícules de mida inferior

a 2,5 μm , d'efectes també danyosos per a l'organisme humà (Markandya *et al.*, 2009). La producció d'aliments representa igualment l'origen d'una important generació de gasos amb efecte d'hivernacle: la conversió dels boscos en terres de conreu, els fertilitzants, i el funcionament de la maquinària, generen diòxid de carboni i òxids de nitrogen, i les restes de la producció agrícola i la fermentació entèrica dels aliments consumits per la ramaderia, principalment la ruminant, allibera un altre gas important d'hivernacle com és el metà (McMichael *et al.*, 2007; Friel *et al.*, 2009). Fins i tot la utilització de biomassa per a l'elaboració de pa o la satisfacció de les necessitats domèstiques comporta riscos per a la salut per la generació de gasos amb efecte d'hivernacle, monòxid i diòxid de carboni principalment i partícules, que seran particularment agressius per als que treballen a les fleques o a les cuines on es consumeixen aquests combustibles, però que, tanmateix, acaben per constituir una font més de generació de gasos amb efecte d'hivernacle (Wilkinson *et al.*, 2009). Les combustions per a la producció d'energia, transport i ús domèstic, a més de diòxid de carboni i metà, generen sulfats i aerosols de carboni orgànic que no només no produeixen efecte d'hivernacle sinó que generalment redueixen l'escalfament, així com altres aerosols que efectivament són agents que contribueixen a l'escalfament. Uns i altres són nocius per a la salut. Les susdites combustions vessen també a l'atmosfera òxids de nitrogen i halocarburis, i propicien la formació d'un gas contaminant de curta vida, resultant de complexos reaccions a partir dels productes volàtils de les mateixes combustions: l'ozó, clarament nociu, sobretot per a l'aparell respiratori (Smith *et al.*, 2009a).

Resulta indubtable que les accions necessàries perquè, amb la tecnologia actual, pugui aconseguir-se ni tan sols moderar significativament el procés de canvi climàtic exigiria la transmutació de la producció d'energia i alteraria el nostre estil de vida. Hauríem de conduir menys, volar menys i alimentar-nos de manera ben diferent. És per això que els responsables polítics es resisteixen a demanar als ciutadans unes transformacions que podrien ser percebudes com un retrocés en el desenvolupament humà, i més encara durant la inseguretat financera dels darrers anys

(Horton, 2009; Lim *et al.*, 2009). Les indecisions o dificultats que han d'afrontar les autoritats per defensar uns acords suposadament de no fàcil acceptació rau, primerament, en els sacrificis o incomoditats que comportarien adoptar nous hàbits i renunciar a uns costums fortament arrelats, però també en el desconeixement del benefici per a la salut que se'n derivarien d'accions de mitigació del canvi climàtic com les anteriorment assenyalades. De tota manera, els màxims responsables polítics i socials haurien de difondre aquests beneficis en el camp de l'educació i mitjans de difusió social, per tal d'aconseguir almenys actituds individuals de conseqüències probablement de limitat efecte sobre el clima, però en cap cas negatives, sinó totalment beneficiosos per a les persones que les adoptessin.

Si, tal com ja s'ha destacat, resulta difícil, gairebé impossible, arribar actualment a un compromís real que impliqui tots els països del món en la reducció de la generació de gasos capaços d'intensificar el canvi climàtic, tampoc no resulta fàcil aconseguir l'acceptació de mesures pal·liatives per part d'un nombre limitat de nacions per raons econòmiques. Efectivament, l'aplicació per part d'uns pocs significaria un esforç escassament apreciable en el procés de canvi climàtic i una pèrdua econòmica per a aquells que acceptessin el repte. Els beneficis que aportaria una reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle estan generalment fora de dubte i sembla il·lusòria la confiança de Goklany (2009a i 2009b) que les actuals i futures possibilitats tècniques i econòmiques d'adaptació aportin més beneficis i a millor preu que la mitigació del mateix canvi climàtic. En contra d'aquesta opinió, les polítiques determinants de mitigació del canvi climàtic podrien aportar immediats i positius efectes en la salut de la població (McMichael *et al.*, 2009). Estudis recents mostren que, donades les actuals concentracions de diòxid de carboni a l'atmosfera, si no s'arriba a limitar les emissions d'aquest gas, a mitjans del present segle les temperatures hauran augmentat més de 2 °C (Allen *et al.*, 2009; Meinshausen *et al.*, 2009). Pitjor és l'escenari previst per Schneider (2009), en vaticinar un hipotètic increment de les temperatures de fins 6,4 °C per a l'any 2100. De cap manera pot justificar-se en raons estric-

tament econòmiques renunciar a tota mitigació del canvi climàtic, perquè els beneficis per a la salut, encara insuficientment coneguts (Horton, 2009), que suposaria una reducció de les emissions hauria de permetre un estalvi en el finançament de serveis sanitaris superior a les despeses de moltes polítiques de mitigació (Campbell-Lendrum *et al.*, 2009). En tot cas, cal entendre que davant del canvi climàtic, més que una qüestió d'acord internacional o de despeses econòmiques, es tracta de decidir en quin món volem viure. El canvi climàtic és el preu que hem de pagar per l'acceptació de polítiques gasives (Chan, 2009). La necessitat i urgència de prendre mesures adreçades a protegir la salut és tan inqüestionable que constituïria un risc no fer res (Gill i Stott, 2009).

21.2.4. Adaptació al canvi climàtic. Els sistemes d'alerta i avis

Davant les dificultats existents per establir compromisos de general acceptació que permetin una mitigació del canvi climàtic actualment en progressió i consolidació, s'imposa l'adopció de tota una sèrie d'accions que minven els efectes negatius de tot tipus que aniran provocant, particularment, els impactes que puguin afectar la salut. Un dels mètodes més adients, sinó el que més, per minimitzar els efectes provocats per l'increment de les temperatures i episodis excepcionalment càlids, en un món cada vegada més calorós, consisteix en l'establiment d'un sistema d'alerta i avis a la població davant situacions atmosfèriques de risc per a la salut. Tanmateix, la previsió de les conseqüències per a la salut de les temperatures extremadament altes és complicada degut a les incerteses pel que fa a com s'hi adaptaran les poblacions i les infraestructures socials. Un recent treball (Kinney *et al.*, 2008), després d'analitzar estudis previs dedicats a l'estimació dels efectes del canvi climàtic en la mortalitat, destaca la importància, primerament, de tenir en compte les referències històriques o més immediates sobre les relacions entre el temps atmosfèric i les taxes de mortalitat de cada regió o ciutat objecte d'estudi, així com les de les localitats de clima similar; en segon lloc, d'avaluar el llindar termomètric de mínima mortalitat; i, finalment, d'estimar els impactes dels elements emmascaradors o modificadors de la relació de la tempera-

tura amb la mortalitat. Els esdeveniments meteorològics extrems, com són les onades de calor, no poden ser evitats, però les previsions meteorològiques permeten implementar sistemes d'alerta i avis adreçats a les regions i persones vulnerables. Els principals components d'un sistema concebut per a aquest objectiu inclou, a més del pronòstic meteorològic, la previsió dels possibles impactes en la salut, un efectiu i acurat pla de resposta i una continua avaluació dels sistemes i els seus components (Ebi i Schmier, 2005). A més d'un augment de la freqüència i intensitat de les onades de calor, és previsible un increment de la vulnerabilitat sota els efectes del canvi climàtic durant el segle present, degut a l'envelliment de la població, particularment als països més desenvolupats, i al progressiu i ràpid creixement de les ciutats als països que compten amb menys recursos i, en conseqüència, al nombre d'habitants sotmesos als efectes d'illa de calor urbana (Basu i Samet, 2002; Huq i Colwell, 1996), a conseqüència dels quals, els habitants dels centres de les grans ciutats han de patir uns impactes de la calor sobre la seva salut superiors als que han de suportar els que viuen en àrees rurals o suburbanes (Conti *et al.*, 2005; Tan *et al.*, 2010).

El sistema d'alerta i avis a la població de Filadèlfia davant tipus de temps càlids, susceptibles d'afectar la salut proposat per Kalkstein *et al.* (1996), fou capdavanter en l'establiment de sistemes amb similars objectius a altres ciutats arreu del món. El sistema preveu la intervenció dels responsables polítics de la ciutat i d'altres estaments. Televisió, ràdio i premsa s'encarreguen d'informar a la població de les condicions opressives del temps i de la manera d'evitar les malalties relacionades amb la calor. Els mateixos mitjans de difusió animen que amics, veïns i altres voluntaris facin visites diàries a les persones d'edat avançada i vetllin perquè aquestes persones comptin amb suficients elements i serveis per protegir-se del temps. La corporació municipal obre una línia telefònica especial, el número de la qual apareix als mitjans de comunicació i a pantalles al centre de la ciutat, destinada a informar i aconsellar al públic en general com evitar els danys provocats per l'estrès tèrmic. El departament de salut contacta amb personal per informar i ajudar la població que requereix cures es-

pecials. A més, les companyies de serveis, particularment les encarregades del subministrament d'aigua i electricitat, han de garantir el manteniment de les seves activitats mentre persisteixi el període d'emergència. Al mateix temps, el servei mèdic d'emergències incrementa el seu personal en anticipació d'un increment de la demanda. El sistema d'alerta i avis a la població de Filadèlfia concebut per Kalkstein permeté la preservació d'un nombre de vides estimat en una mitjana 2,6 per cada dia excepcionalment càlid i els tres següents, de manera que en tres anys s'arribaren a evitar 117 morts (Ebi *et al.*, 2004). Tot i l'eficàcia evident d'aquest sistema, tan sols dues ciutats europees, Lisboa i Roma, comptaven amb un conjunt de disposicions i recursos amb objectius similars abans de l'any 2003, quan bona part del continent patí una onada de calor d'una intensitat sense precedents. Aquest mateix any, però, les ciutats italianes de Turí, Milà i Bolonya inauguraren el seus corresponents sistemes, mentre bon nombre de ciutats dels Estats Units comptaven amb aquest servei i projectaven la seva instal·lació a tots els nuclis poblacionals amb més de 500.000 habitants, i dues ciutats canadenques i la xinesa de Xangai havien inaugurat els seus (Sheridan i Kalkstein, 2004).

Arran dels impactes de les onades de calor de 2003, els països d'Europa han dedicat un creixent interès en el desenvolupament de sistemes d'alerta i avis a la població, mentre als Estats Units un apreciable nombre de ciutats no comptaven amb cap pla de resposta a situacions atmosfèriques extremes o només preveïen disposicions d'abast limitat i manca d'eficàcia (Bernard i McGeehin, 2004). França establí un sistema de vigilància i advertència davant la imminència d'onades de calor basat en les previsions meteorològiques d'ultrapassar determinats llindars termomètrics, que el centre meteorològic Météo-France ha de comunicar a les autoritats polítiques i administratives amb tres dies d'anticipació, moment a partir del qual ha d'engegar-se un seguiment de la situació fins que remetin els riscos per a la salut. En haver rebut la previsió de la probable arribada d'una onada de calor, els corresponents responsables de l'administració procedeixen a emetre una sèrie de disposicions adreçades a garantir el manteniment dels serveis de

distribució d'energia i aigua i els recursos mèdics i sanitaris, davant el previsible increment de demanda, així com a organitzar mesures de suport social per a les persones que potencialment ho hagin de menester (Pascal *et al.*, 2006). Això va permetre una reducció de la mortalitat durant l'onada de calor de l'any 2006 entimada a l'entorn de 4.400 persones amb relació a l'esperada (Fouillet *et al.*, 2008).

El sistema d'alerta adoptat a Xangai s'activa quan el centre meteorològic preveu l'arribada o predomini d'una massa d'aire estressant per a l'organisme. En aquest cas, les autoritats emeten les disposicions que s'escaiguin perquè el servei de subministrament d'energia i aigua romanguin actius, els hospitals puguin satisfer un increment de la demanda d'atenció, i les persones aïllades o més necessitades comptin amb suport, el qual pot incloure la disponibilitat de locals amb aire condicionat perquè els ciutadans sense recursos puguin passar la nit (Tan *et al.*, 2004). Gràcies a l'aplicació d'aquestes disposicions, la millora de les condicions domèstiques, amb un augment de les disponibilitats d'aire condicionat i l'increment dels espais verds i àrees per viure a la ciutat, fou possible que la mortalitat relacionada amb l'onada de calor del l'any 2003 fos inferior a la patida l'estiu de 1998, de característiques termomètriques similars (Tan *et al.*, 2007). El sistema d'alerta i prevenció de Xangai, però, sembla insuficient per reduir la mortalitat per isquèmia cardíaca quan les temperatures màximes diàries ultrapassen els 34,5 °C, extrem que caldrà investigar (Chau, Chan i Woo, 2009).

El sistema d'alerta i avís a la població davant onades de calor establert a Portugal des de l'any 1999, elaborat a partir de les dades de mortalitat de Lisboa però adreçat a tot el país, es mostrà eficaç durant la intensa onada de calor de l'any 2003, sobretot durant els mesos de juny i juliol, per als quals el sistema havia estat calibrat. Per a l'agost, el model donà bons resultats malgrat la manca d'informació sobre els efectes d'onades de calor en anys anteriors durant aquest mes, quan generalment davallen les temperatures, sobretot les dues darreres setmanes. Una relativa sobreestimació de la mortalitat previsible no pot considerar-se una exageració del sistema, el qual, amb les dades aportades després dels esdeveniments

de l'estiu de 2003, requeria un nou calibratge (Nogueira i Paixao, 2008).

El Departament de Salut i el de Medi Ambient, mitjançant el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), posaren en marxa, l'any 2004, un pla d'actuació per prevenir els efectes de les onades de calor sobre la salut (POCS), que compta amb la participació d'altres departaments de la Generalitat i entitats municipals i sanitàries. El POCS fou dissenyat amb tres objectius essencials: predir amb la màxima antelació que permetin els mitjans tècnics les possibles situacions atmosfèriques de risc, coordinar els mitjans i recursos disponibles a Catalunya per tal de fer front a imminents onades de calor i minimitzar els impactes de la calor sobre la salut de la població del país, particularment la de les persones més vulnerables. El pla s'aplica des de l'1 de juny fins al 15 de setembre. L'emissió per part de l'SMC d'una situació meteorològica de risc de nivell 1, quan preveu un increment de la temperatura màxima diària per damunt del percentil 98, el valor del qual es xifra en 33,1 °C a Barcelona, 32,1 °C a Tarragona, 37,5 °C a Lleida i 36,1 °C a Girona, comportarà l'activació del pla d'actuació. En cas de pronosticar que la temperatura màxima diària pugui ultrapassar aquest percentil durant tres dies o més, l'avís assolirà el nivell 2 que suposa la probable proximitat d'una onada de calor. Els càlculs per a aquestes previsions han de fer-se en relació a 10 municipis representatius de diferents punts del litoral, d'una banda, i de l'interior del territori, d'una altra, i és possible la seva activació o desactivació per cadascun d'ambdós sectors per separat. Una àmplia tasca d'informació a la població sobre els riscos de les temperatures excepcionalment altes per a la salut de la població marca el començament de cada campanya anual, consistent en l'edició d'un fullet que inclou recomanacions vàlides per a tothom, el qual es troba disponible a centres sanitaris i oficines de farmàcia. A més, es preveu per a cada centre d'atenció primària, hospital i residència geriàtrica un pla d'actuació que garanteixi l'ajut que s'escaigui per a les persones que l'hagin de menester, el qual inclou un cens actualitzat de les persones amb més risc que cal contrastar amb els corresponents serveis socials. Al mateix temps, es fa un seguiment diari

de les dades facilitades per l'SMC i de les defuncions als deu municipis objecte de control. A partir del 15 de juny, es procedeix a fer una divulgació setmanal de l'evolució de temperatures i defuncions, així com de les recomanacions a les persones més fràgils i amb alt risc social, i s'obre una línia telefònica per facilitar informació a qui la sol·liciti. L'activació d'una situació meteorològica de risc de nivell 1 preveu l'avís als mitjans de comunicació i dispositius assistencials de l'existència d'una situació d'alerta, a més de l'engegada de plans d'actuació previstos davant la imminència d'una onada de calor per a cada centre sanitari i residència geriàtrica. Els serveis d'atenció primària hauran d'estar en disposició d'atendre les persones més fràgils i els serveis socials les que viuen aïllades. Sanitat haurà d'encarregar-se d'informar i aconsellar telefònicament a qui ho sol·liciti i de coordinar amb els serveis assistencials el seguiment de les persones especialment vulnerables. Una situació de risc de nivell 2 requereix la mobilització dels recursos d'emergència de diferents estaments o serveis de la Generalitat i Creu Roja amb l'objectiu de minimitzar els danys en la salut de la població.

El disseny i aplicació d'un sistema d'alerta i avís a la població davant la imminència d'una onada de calor requereixen el coneixement d'una àmplia informació sobre, d'una banda, les sèries d'observacions meteorològiques enregistrades en un període prou llarg d'anys, així com de la mortalitat i, a si és possible, la morbiditat de la població o regió on hagi d'aplicar-se. Aquesta informació permetrà establir els llindars termomètrics que representin l'inici de situacions de risc, a la vista i amb relació a l'evolució de la mortalitat i morbiditat en anys precedents. L'activació d'un sistema d'aquest tipus pot fixar-se en relació a les temperatures màximes, mitjanes o mínimes o en les anomenades temperatures aparents, estimades a partir de les mateixes temperatures i la humitat (Baccini *et al.*, 2008; Yip *et al.*, 2008), però també a partir de la previsió i detecció, partint de mapes sinòptics als centres meteorològics de la proximitat i de la presència de masses d'aire angoixants (Tan *et al.*, 2004; Kalkstein i Sheridan, 2006; Kysely i Huth, 2009). Els sistemes d'alerta i avís han de dissenyar-se específicament per a cada ciutat o àrea d'aplicació, i no

solament cal tenir en compte les diferències entre les característiques climàtiques d'unes àrees i unes altres, sinó també la sensibilitat o vulnerabilitat dels habitants que hi viuen, així com la seva formació i disponibilitats econòmiques i socials.

Tots els treballs que analitzen els impactes de les temperatures en la salut, i particularment en la mortalitat, destaquen que les persones més vulnerables a les temperatures extremes són els més grans de 65 anys i els infants, als quals generalment s'afegeixen els grups marginals i determinats malalts crònics afectats per problemes cardiovasculars o respiratoris, així consta en el bon nombre de treballs publicats entre els anys 2001 i 2008 que analitza Basu (2009). Alguns estudis destaquen, a més, la susceptibilitat dels diabètics i víctimes d'afeccions psiquiàtriques o del sistema nerviós central, i també les dones i les persones solteres (Schifano *et al.*, 2009) i altres, la fragilitat dels pacients renals i persones que viuen en condicions precàries (Knowlton *et al.*, 2009). Un treball sobre els efectes de la calor en la mortalitat en 15 ciutats europees, entre les quals inclou Barcelona i València, subratlla l'heterogeneïtat de les condicions, òbviament termomètriques, però també demogràfiques, culturals, sociològiques i tecnològiques, que no són alienes a la vulnerabilitat davant els efectes de la calor (Baccini *et al.*, 2008). Un altre treball sobre les temperatures extremes a 50 ciutats dels Estats Units, a més de coincidir en la vulnerabilitat de les persones de més anys, que s'explica amb la reducció de la capacitat termoreguladora amb l'edat, demostra que la susceptibilitat davant temperatures extremes augmenta entre les persones amb menys formació, indicació probable de les condicions econòmiques (Medina-Ramon *et al.*, 2006). A més, els llindars termomètrics indicadors d'un increment acusat dels efectes negatius sobre la salut varien d'una ciutat a una altra i no hi ha un sistema o una metodologia òptima que garanteixi uns millors resultats de protecció de la salut davant un esdeveniment meteorològic extrem, sinó que cada municipi ha de dissenyar el més adient a les seves particulars característiques (Kalkstein, Sheridan i Kalkstein, 2009). Les diferències entre les condicions termomètriques que poden esdevenir lesives per a

la salut, independentment d'altres factors, són molt acusades entre diferents poblacions europees i així ha estat comprovat en diferents estudis, alguns dels quals inclouen la ciutat de Barcelona (Baccini *et al.*, 2008; Michelozzi *et al.*, 2007; Michelozzi *et al.*, 2009). Els efectes de la calor sobre al salut mostra comportaments similars a Europa i Amèrica, però també discrepàncies. Un estudi que compara els impactes de les temperatures altes a París i a cinc ciutats dels Estats Units, sota un escenari estimat en magnitud al de l'estiu de 2003 a Europa, destaca que les conseqüències de la calor són més acusades els primers mesos de l'estiu a les poblacions americanes, mentre que, a la capital de França, la mortalitat és més alta a l'agost (Kalkstein *et al.*, 2008). D'altra banda, a diferència d'Amèrica (O'Neill *et al.*, 2005), a Europa no s'ha detectat una particular intensificació dels efectes de les situacions atmosfèriques extremes entre les persones que viuen en condicions precàries o amb manca d'integració social (Michelozzi *et al.*, 2005; Sunyer i Grimalt, 2006; Hajat, Kovats i Lachowyc, 2007). En definitiva, l'elaboració d'un sistema destinat a alertar i ajudar la població davant una onada de calor ha de partir d'un ampli coneixement de la ciutat o el país on s'hagi d'aplicar, de manera que seria d'escassa utilitat una simple aplicació d'experiències contrastades a altres indrets, donada la diversitat dels climes i l'heterogeneïtat de la societat o grups socials que ocupen cada territori i la freqüent deficiència de les dades necessàries per a la seva preparació. Les limitacions en les bases de dades dificulten l'avaluació dels efectes del clima i el temps atmosfèric en la salut (Dixon *et al.*, 2005). Les deficiències de les sèries cronològiques d'observacions meteorològiques i sobre mortalitat dificulten el calibratge de les condicions potencialment perjudicials per a salut, fonamentals per a l'activació de qualsevol sistema d'avís i ajut a la població. Tan important o més que comptar amb els criteris per activar aquest sistema és la seva eficaç aplicació. Actualment, la difusió de missatges d'avís, almenys als països més desenvolupats, pot ser plenament eficaç en transmetre el missatge a la gran majoria o totalitat de la població, la qual s'assabenta de l'existència d'una situació de risc, però són més aviat poques les persones

que entenen les accions que han d'adoptar mentre dura la situació de risc, o bé, tot i comptant amb aire condicionat en fan escàs ús per raons econòmiques (Sheridan, 2007) i algunes altres no es creuen vulnerables davant la calor (Knowlton *et al.*, 2009). Aquestes circumstàncies i la capacitat de les onades de calor de provocar efectes sovint immediats, sobretot entre persones amb antecedents cardiovasculars, fins i tot amb resultat de mort abans d'ingressar en un centre hospitalari (Linares i Díaz, 2007), justifiquen la necessitat que els sistemes d'emergència i suport a la població disposin de mitjans suficients per atendre les persones que formen part dels grups d'alt risc. La intervenció de 2.550 *practitioners* o sanitaris en un programa d'atenció a un grup d'aquestes característiques que representava el 5% de les persones més grans de 65 anys de Roma durant l'estiu de 2007, principalment dirigit als de 75 i més anys, permeté una reducció significativa de la mortalitat entre els que participaren en el programa, els quals patiren un excés de mortalitat del 7%, mentre que fou del 13% entre els que no hi participaren (Bargagli *et al.*, 2007).

Tots els fets i circumstàncies esmentades evidencien les dificultats i complexitats que ha d'abordar el disseny i aplicació d'un sistema d'alerta i intervenció que permeti la reducció de malalties, lesions o la mort. Els primers sistemes adoptats han permès reduir la vulnerabilitat d'esdeveniments extrems i també afrontar un futur que pot estar caracteritzat per una més gran freqüència i intensitat d'aquests esdeveniments (Ebi, 2005). Per més ben concebut que hagi estat un sistema d'alerta i intervenció, no podrà evitar la conveniència de ser objecte de permanent avaluació i, si escau, modificació. La simple anàlisi de les sèries temporals de dades poden requerir la modificació de criteris per a l'activació del sistema i previsió d'excessos de mortalitat. Així, els excepcionals esdeveniments de l'estiu de 2003 a Europa, sense precedents coneguts, han de tenir-se en compte en la crítica dels sistemes ja implantats (Ebi, 2007). El sistema adoptat per Portugal l'any 1999 fou positiu i eficaç en la previsió de les onades de calor i de l'excés de mortalitat de l'estiu de 2003, però els encarregats de fer arribar els missatges a la població tingueren dificultats, potser degut als més impactants i

concomitants incendis que succeïren aquell any a molts indrets del país (Nogueira, 2005). D'altra banda, l'activació d'un pla en una gran ciutat o àrea metropolitana a partir de les previsions meteorològiques sobre l'evolució de les masses d'aire i els enregistraments a un únic o un limitat nombre de punts d'observació, podria ajustar millor les accions de suport amb el recurs de la percepció termomètrica remota, la qual també pot reflectir informació sobre les condicions socioeconòmiques i necessitats de cada districte, barri o centre poblacional (Johnson, Wilson i Lubert, 2009). A més, les experiències dels plans de resposta són útils per a posteriors aplicacions.

Entre els plans previstos a diferents ciutats dels Estats Units, cinc preveïen la distribució d'instruments de ventilació, malgrat la seva inutilitat per a reduir els riscos provocats per la calor i la possibilitat d'incrementar l'estrès per ús inadequat (Bernard i McGeehin, 2004). L'ús de ventiladors domèstics és objecte de controvèrsies i poc recomanable quan es disposa de procediments millors com és prendre una dutxa d'aigua freda (Hajat, O'Connor i Kosatky, 2010). En darrera instància, l'eficàcia d'un sistema d'alerta i avís a la població dependrà, suposades unes previsions encertades dels esdeveniments atmosfèrics, de l'abast oportú de suport a les persones que l'hagin de menester, primordialment d'aquelles que formin part dels grups de risc. Això requereix que els responsables sanitaris assumeixin un paper essencial en la identificació de les possibles accions de prevenció i assistència a les persones afectades i que treballin en col·laboració amb els serveis meteorològics i ambientals (Kjellstrom *et al.*, 2010), i àdhuc amb especialistes en altres disciplines com la geografia i la climatologia (Xun *et al.*, 2010). Tot aquest ventall d'àmplies experiències i la multitud d'estudis existents són d'utilitat tant a l'hora de dissenyar un sistema d'alerta i intervenció davant la imminència i desenvolupament d'onades de calor, com la de procedir a la seva avaluació i modificació, sense oblidar que, en primer lloc, cada territori requereix un pla a la mida de les seves característiques i peculiaritats climàtiques, demogràfiques, socials i culturals i, en segon terme, les disponibilitats materials per a la seva aplicació. Entre les accions previsibles, l'ús d'aire

condicionat hauria de limitar-se als centres sanitaris o als àmbits que puguin establir-se a determinats punts de les poblacions per als casos d'extrema necessitat. Les situacions i requeriments varien molt d'unes ciutats a unes altres i l'apertura d'àmbits amb aire condicionat per acollir les persones de més edat amb manca de mitjans i grups marginals i aconsellar la gent sobre tot allò que hagin de fer mentre durin les situacions d'emergència, són algunes de les mesures que les ciutats han de preveure dins dels seus sistemes d'alerta i assistència (Kalkstein, Sheridan i Au, 2008). La generalització dels equips d'aire condicionat a les llars que, realment pot resultar efectiva en la reducció dels impactes de la calor, a més d'una important despesa econòmica, exigeix el consum d'energia elèctrica (Samet, 2009) i, en conseqüència, molt probablement, el vessament de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera.

L'experiència acumulada en l'establiment i avaluació dels sistemes d'alerta i atenció arreu del món ha aportat un més que notable progrés en el coneixement dels efectes de les condicions atmosfèriques extremes en la salut i en la manera de reduir els seus impactes més greus, però, lluny d'oferir la formulació de mètodes i procediments d'aplicació universal, han abundat en destacar tant la gran diversitat de les realitats climàtiques existents com de les societats que ocupen els diferents espais, uns climes òbviament en procés de mutació i unes societats canviants demogràficament, social i cultural. Això exigeix una continuïtat en les tasques d'avaluació dels resultats aconseguits any rere any i la introducció de les ampliacions o modificacions que s'escaiguin en cada moment. El simple envelliment de la població pot requerir un ajustament dels líndars termomètrics que determinen l'activació dels sistemes de cada territori, fins el punt que seria aconsellable regularitzar-los almenys cada deu anys (Miron *et al.*, 2008). La constatació de la persistència creixent dels tipus de circulació que generen o propicien episodis de calor extrema a Europa (Kysely i Huth, 2008) és una prova indubtable de la necessitat de calibratge del sistema establert. El reconeixement o previsió de la proximitat d'un tipus de temps portador d'una massa d'aire estressant sol ser el pas previ a l'activació d'un sistema d'alerta, una tasca

que els diferents sistemes existents arreu del món han realitzant seguint un de dos tipus de classificació diferents: el conegut com a «índex sinòptic temporal», adoptat en els treballs realitzats per Kalkstein *et al.* (1996), Smoyer *et al.* (2000), Kassomenos *et al.* (2001), Pengelly *et al.* (2007) i Vaneckova *et al.* (2008); o bé l'anomenat «clasificació sinòptica espacial», preferit en els estudis de Kalkstein i Greene (1997), Tan *et al.* (2004), i Kalkstein, Sheridan i Au (2008). La temperatura de l'aire i la humitat són els elements més importants en la qualificació dels efectes del temps diari en la salut a l'estiu i, mentre que la velocitat del vent pot resultar d'escassa utilitat (Kysely i Huth, 2009). La major part dels estudis existents han analitzat els impactes de la calor en la mortalitat, mentre que els efectes sobre la morbiditat no han estat objecte de l'atenció que mereixen (Mastrangelo *et al.*, 2007; Ballester, 2008), possiblement per les dificultats que comporta l'accés a bases de dades significatives i fiables. L'estimació de l'excés de mortalitat és relativament simple, però no un hipotètic «excés de morbiditat», per més que seria del màxim interès a l'hora d'establir a temps accions destinades a evitar processos patològics, reversibles o no. A més, mentre la intensitat de les onades de calor i el seu esdeveniment a començament de l'estiu són determinants en les taxes de mortalitat que provoquen, l'augment dels ingressos hospitalaris provocats per episodis excepcionalment càlids sol produir-se tant al començament com a finals dels mesos càlids (Mastrangelo *et al.*, 2007).

La profusió de sistemes d'alerta i assistència a la població davant els episodis de calor extrema que han estat implantats els darrers anys i les experiències resultants de la seva aplicació, constitueixen unes bases d'informació i referències imprescindibles a l'hora de projectar nous sistemes amb aquest mateix objectiu, així com en la seva avaluació i necessitat de periòdic calibratge o millora. El pla instaurat a Barcelona i a la resta de Catalunya després de les onades de 2003 encara ho ha pogut ser contrastat amb l'aplicació davant d'onades de calor com les patides aquell any. La seva eficàcia haurà de dependre sobretot dels mitjans humans i sanitaris que estiguin en disposició d'actuar quan tornin a ocórrer episo-

dis semblants, que previsiblement apareixeran en estius futurs. Mentrestant, seria convenient analitzar els resultats de les experiències i avaluacions enregistrades a altres territoris. Les previsions de l'arribada de masses d'aire estressants, portadores d'onades de calor, per més que generalment siguin prou encertades, requereixen un seguiment continu de l'evolució de les temperatures i també de la humitat. Això permetrà estimar els hipotètics excessos de mortalitat i activar les mesures per a la seva minimització. Perquè això sigui possible, les autoritats responsables d'activar el sistema d'alerta i assistència hauran de difondre la situació a través del mitjans de difusió previstos pel mateix sistema i engegar els protocols d'assistència a la població. Els criteris establerts en aquests protocols, a més de l'òbvia referència a les condicions atmosfèriques, ha de tenir en compte la diversitat de les característiques demogràfiques, socials i econòmiques de la població i especialment de les persones de més risc.

A més dels ancians, un treball recent ha destacat que, a Barcelona, les dones són més sensibles als efectes de la calor que els homes, i els nivells més baixos d'educació també suposen un increment del risc (Borrell *et al.*, 2006), si bé la més gran susceptibilitat de les dones pot explicar-se perquè la seva vida mitjana és més llarga i, per tant, la seva proporció entre la gent de més edat és superior (García-Herrera *et al.*, 2005). El pla hauria d'incloure informació sobre les persones d'edat avançada que viuen soles o en condicions precàries, particularment si pateixen alguna afecció cardiovascular o respiratòria de caire crònic, per tal d'elaborar un llistat de candidats a una atenció personalitzada. La representació cartogràfica de la vulnerabilitat davant la calor podria resultar de gran utilitat a l'hora d'activar el suport a la població, sobretot quan el sistema d'alerta abasta un territori més o menys extens (Reid *et al.*, 2009). Tanmateix, un recurs similar seria d'interès en programes pensats només per a una àrea metropolitana, doncs permetria destacar els barris o sectors més vulnerables i una adequada ubicació de centres d'emergència amb aire condicionat per atendre casos d'especial necessitat. Una vegada en disposició de la màxima informació sobre la situació atmosfèrica i la seva previsible evolució, així com

de les condicions sanitàries, socials i econòmiques de la població, són els responsables mèdics els que han d'assumir el lideratge en la direcció de les accions destinades a salvar vides, tant en l'àmbit individual o local com nacional (Jackson i Naumoff, 2008), de manera que pugui arribar-se a atendre i evitar la mort d'ancians que viuen sols i de persones mancades de recursos, a oferir locals amb aire condicionat que acullin persones en situació d'emergència, i es garanteixin els serveis hospitalaris i el correcte funcionament de les residències geriàtriques i centres d'acolliment d'infants.

Les campanyes d'informació a través del mitjans de comunicació amb motiu de l'activació dels sistemes d'alerta i avís a la població haurien d'incloure tota una sèrie de suggeriments i consells útils per fer front a situacions de calor extrema que previsiblement seran cada vegada més freqüents. Estudis recents proposen un molt ampli o exhaustiu llistat d'advertències i recomanacions sobre les actituds i comportaments més convenients per defensar la salut davant aquestes situacions, adreçades al conjunt de la ciutadania i amb orientacions específiques per als professionals de la sanitat i els responsables polítics o autoritats locals i nacionals (Hajat, O'Connor i Kosatky, 2010); Jackson i Naumoff, 2008). La col·laboració dels metges en la difusió d'aquestes recomanacions de bon segur que seria de la màxima eficàcia quant a l'acceptació dels destinataris. Simples indicacions sobre l'alimentació i consum de líquids poden resultar de gran utilitat. De tota manera, és important insistir en la necessitat que els sistemes d'alerta, avís i atenció a la població siguin dissenyats d'acord amb la realitat i les característiques específiques de cada territori, així com que és imprescindible la seva avaluació crítica d'acord amb els resultats assolits i la introducció de les modificacions que s'escaiguin. L'estudi de les conseqüències del canvi climàtic per a la salut encara es troba en la seva infància (Vineis, 2009) i cal millorar-lo progressivament en el temps, aprenent de les pròpies experiències i de les conegudes d'altres territoris. Tal com suggereixen Kovats i Ebi (2006), els països europeus necessiten aprendre uns dels altres.

Un sistema d'avís i alerta, perquè sigui eficaç, implica una àmplia dedicació de mitjans i, en

conseqüència, exigeix importants inversions econòmiques a les institucions públiques, però és susceptible de ser establert a curt termini. Més difícil i, àdhuc en bona part inviable, seria l'acomodació dels habitatges i l'entorn urbà. La generalització de l'aire condicionat a tota mena d'edificis, a més d'excessivament costós, sobretot per a les persones d'economia modesta, requerriria més consum d'energia i, per tant, de combustibles possiblement fòssils, la qual cosa no faria més que agreujar l'efecte d'hivernacle. Es tracta d'un recurs que s'hauria d'utilitzar amb restricció i màxima prudència. La construcció d'habitatges òptimament orientats, amb millors materials i tecnològicament preparats per reduir la resposta a les condicions atmosfèriques canviants, requereix unes disponibilitats econòmiques de difícil assumpció en construccions noves, mentre és impensable l'adaptació o substitució de la totalitat de les edificacions existents. Les actuals normes d'edificació, sobretot a les ciutats, ja tenen en compte, almenys formalment, les necessitats d'utilitzar material i tècniques d'aïllament, però l'aplicació és deficient, l'obtenció d'energia solar a partir de plaques instal·lades al sostre de les cases no s'aplica amb suficient rigor, i cada vegada és més freqüent que comptin amb aire condicionat, amb els problemes que la seva generalització significa per al canvi climàtic. Una mida mínimament efectiva per a la mitigació i adaptació al canvi climàtic seria tenir cura del manteniment i extensió de l'arbratge a les ciutats. A més de la petita reducció dels impactes de la radiació sobre l'escalfament del sòl i la moderació de les temperatures, amb una convenient campanya de difusió, podria representar un motiu de preocupació de la població pels efectes del canvi climàtic en la salut.

21.3. La radiació ultraviolada i la salut: conseqüències de la disminució de l'ozó estratosfèric

El clima i les condicions mediambientals en general depenen essencialment de la radiació solar i de les transformacions que aquesta radiació experimenta en el si de l'atmosfera, abans i després d'incidir en la superfície del planeta. La radiació ultraviolada, emesa a longituds d'ona que

van des dels 100 nanòmetres, fins als 400, representa al voltant del 5% de la radiació incident al límit superior de l'atmosfera, la major part de la qual, aproximadament el 95%, és emesa a longituds d'ona immediatament més llargues, que comprenen l'espectre visible i l'infraroig. Si la totalitat de la radiació ultraviolada arribés a la superfície de la terra, no seria possible el manteniment de la vida tal com és a l'actualitat. Calgué que, fa uns 2.000 milions d'anys, microorganismes que vivien en medis aquàtics comencessin a fotosintetitzar oxigen, un gas prèviament escàs a l'atmosfera, perquè posteriorment, per acció de la mateixa radiació solar, s'iniciés la formació d'ozó a l'alta atmosfera. L'oxigen permeté el desenvolupament d'espècies vegetals de més complexitat que les preexistents fins que fa uns 400 milions d'anys poguessin emigrar, seguides d'espècies animals, cap a medis no aquàtics, protegits des de llavors de determinada fracció de la radiació ultraviolada gràcies a l'ozó, concentrat principalment a l'estratosfera.

21.3.1. La radiació ultraviolada i l'ozó estratosfèric

Dins de la radiació ultraviolada, és possible diferenciar entre tres fraccions o bandes de diferent comportament a l'estratosfera. La de longitud més llarga, generalment anomenada UVA, comprèn les emissions de 315 a 400 nanòmetres (nm), la UVB, les contingudes dintre l'interval 280 a 315 nm i la UVC de longitud inferior a 280 nm. L'ozó estratosfèric absorbeix la quasi totalitat de la UVC incident i aproximadament el 90% de la UVB, mentre escassament altera el pas de la UVA. L'ozó estratosfèric no és estable i és sotmès contínuament a un procés de formació i destrucció. La fragmentació d'una molècula d'ozó en una molècula i un àtom d'oxigen requereix l'absorció de radiació ultraviolada de la fracció UVB, la qual esdevé energia calorífica, i es redueix així a només aproximadament un 10% de la incident a l'atmosfera superior que arribarà a la troposfera i, finalment, a la superfície terrestre. L'absorció de la major part la UVB i pràcticament tota la fracció de la radiació UVC és fonamental per al manteniment de l'estat de benestar i salut. És per això que la constatació d'un debilitament de la concentració d'ozó a l'estratosfera durant els darrers

decennis del segle xx afegí un motiu més de preocupació als generats pels primers vaticinis de canvi climàtic, font d'amoinament per als científics i responsables de l'administració que no ha deixat de créixer des de llavors ençà. La concentració d'ozó a l'estratosfera, resultat d'un llarg procés de formació en temps precàmbrics, començava a afeblir-se com a conseqüència de determinades activitats de l'espècie humana, l'origen de la qual i de la vida en general fora dels medis aquàtics havia necessitat la seva constitució. El vapor d'aigua i altres gasos injectats a l'estratosfera pels avions, particularment pels supersònics, i altres components químics com els òxids de nitrogen procedents dels fertilitzants i de la combustió de productes fòssils i, especialment, els clorofluorocarbonis, generalment coneguts o anomenats CFC, inexistents a la naturalesa i sintetitzats industrialment per a la seva utilització en sistemes de refrigeració i com a ignífugs i propel·lents d'aerosols en esprais portadors de productes diferents, que van des de medicaments fins a insecticides i perfums, contribueixen a l'afebliment de l'ozó estratosfèric. Els CFC, inerts a les temperatures de l'aire en contacte amb la superfície de la terra, són destruïts, sota unes condicions de temperatures extremadament baixes, a l'estratosfera polar a finals de l'hivern i al començament de la primavera, de resultes de la fotòlisi provocada per la radiació ultraviolada. Els radicals lliures resultants desintegren l'ozó estratosfèric. L'increment de la radiació ultraviolada sobre la superfície de la terra, provocat com a conseqüència del debilitament de l'ozó estratosfèric, augmenta amb la distància a l'equador i, per tant, és més acusat a latituds altes. Així, la incidència de la radiació ultraviolada en la salut a Europa és màxima als països escandinaus, però també afecta els del centre i sud del continent, i és més baixa a la Mediterrània (Leiter i Garbe, 2008).

La destrucció d'ozó a l'estratosfera és un procés essencialment separat de l'acumulació de gasos amb efecte d'hivernacle a la baixa atmosfera, si bé existeixen importants i interessants relacions entre ambdós fenòmens. Alguns dels gasos antropogenètics com els mateixos clorofluorocarbonis i òxids de nitrogen, que a la baixa troposfera exerceixen un indubtable efecte d'hiver-

nacle i, a més, són contaminants i danyosos per a la salut, contribueixen a la desintegració d'ozó estratosfèric (McMichael *et al.*, 2003). D'altra banda, l'escalfament troposfèric afavoreix un refredament estratosfèric que intensifica la disminució de la concentració d'ozó (Shindell, Rind i Lonengan, 1998). Així, a mida que el canvi climàtic generat per l'acumulació de gasos amb efecte d'hivernacle escalfa la baixa atmosfera, provoca un refredament a l'estratosfera que reforça la destrucció d'ozó. Aquesta mateixa pèrdua d'ozó intensifica el refredament de l'estratosfera, de manera que es produeix una retroalimentació com a resultat de les interaccions entre canvi climàtic i debilitament de l'ozó estratosfèric.

21.3.2. Riscos per a la salut de l'exposició excessiva a la radiació ultraviolada

Existeix un ampli nombre d'efectes sobre la salut relacionats amb el debilitament de l'ozó a l'estratosfera, alguns ostensiblement perillosos. En primer lloc, per la seva gravetat, cal destacar que un excés d'exposició a la radiació ultraviolada pot induir la formació de diferents tipus de càncer, especialment entre les persones de raça blanca, ulls blaus i cabell ros. Diferents estudis han relacionat l'augment de les malalties canceroses amb l'increment de la radiació ultraviolada, sobretot de la fracció UVB, que arriba a la superfície terrestre després que el debilitament de l'ozó estratosfèric hagi reduït la seva capacitat d'absorbir una part d'aquesta radiació (Adami *et al.*, 1995; McMichael i Giles, 1996; Hu *et al.*, 2004; Gallagher i Lae, 2006; Leiter i Garbe, 2008). Els més freqüents dels càncers susceptibles de ser provocats o exacerbats per acció de la radiació ultraviolada són els que afecten la pell i els ulls. Els melanomes són els càncers de pell de pitjor pronòstic i la seva relació amb l'exposició de l'organisme a la radiació solar no ofereix dubtes (Gruijl, 2000; Bunyavanich *et al.*, 2003; De Fabo *et al.*, 2004; Diffey, 2004; González, 2005; Lens i Newton-Bishop, 2005). L'aparició d'aquests càncers a llocs protegits, és a dir, no exposats directament a la radiació solar, ha estat motiu de controvèrsies entre especialistes, però la relació amb la radiació ultraviolada sembla generalment acceptada. Treballs recents relacionen el desenvolupament de melanomes amb exposicions

intermitents al sol i amb cremades solars freqüents o greus patides especialment durant la infància (Dal, Boldeman i Lindelöf, 2007; Mássimo, Lanteri i Díez Pérez, 2009). L'augment dels càncers de pell experimentat en els darrers anys només pot imputar-se parcialment a l'increment de la radiació ultraviolada. Són diverses les causes que expliquen aquest fenomen, principalment els canvis en l'estil de vida, que inclou més presència a l'aire lliure per la pràctica d'activitats de lleure i forma de vestir, i l'increment de la longevitat (Diffey, 2004; Beggs, 2005; Gallagher i Lee, 2006; Norval *et al.*, 2007; Gallegos-Hernández, 2008).

Altres tipus de càncers de pell menys agressius, però més freqüents són els carcinomes basocel·lulars i escatosos, també susceptibles de resultar afectats per la radiació solar (McMichael *et al.*, 1996; Longstreth *et al.*, 1998; Martens, 1998). Aquestes malformacions apareixen preferentment sobre les parts més exposades a la radiació, el cap i el coll, i, encara que s'hagi destacat com a factor desencadenat la reiterada exposició als raigs solars al llarg dels anys, sembla que l'acumulació o permanència excessiva i continuada en contacte directe amb aquests raigs, particularment durant la infància, pot esdevenir decisiva en posteriors etapes de la vida. L'acumulació d'hores d'exposició als raigs solars és decisiva en la formació de càncers escatosos, mentre que aquesta relació no és tan clara en el desencadenament de càncers basocel·lulars (Madan, Lear i Szimies, 2010).

Atès que la fracció UVC és absorbida pràcticament en la seva totalitat per l'ozó estratosfèric, la UVB representa el principal risc per a la pell, molt més gran que la UVA. A més de la intervenció en la generació dels càncers al·ludits, aquestes fraccions de la radiació ultraviolada provoquen altres danys a la pell, particularment cremades de diversa gravetat. A la fracció UVB, sembla correspondre sobre el 80% de la contribució de la radiació ultraviolada en aquests processos, mentre la fracció UVA seria responsable del 20% restant. Encara que la fracció UVA no tingui un efecte eritematós tan intens com la fracció UVB, pot provocar un efecte d'envelliment de la pell, sobretot de la cara, i un increment dels efectes d'aquesta fracció, de manera que una perma-

nència a l'exposició dels raigs solars perllongada no és exempta de riscos de formació de carcinomes escatosos encara que sigui sota l'acció favorable de protectors solars contra la radiació UVB. A més, la fracció UVA potencia els seus impactes sobre l'organisme humà i éssers vius en general actuant en sinergisme amb diferents contaminants atmosfèrics, incloent-hi el fum del tabac (Burke i Wei, 2009).

La pell constitueix una protecció eficaç de l'organisme humà davant els riscos que comporta la radiació ultraviolada, tot i que no és immune a aquets riscos i la mateixa pell no pot evitar danys com els que s'han assenyalat. Els ulls són els únics òrgans que romanen al marge de la protecció de la pell i que, per al compliment de la seva funció, han de mantenir-se en contacte amb la llum solar i són vulnerables als impactes de la radiació ultraviolada. Exposicions agudes a nivells alts de radiació ultraviolada, sobretot en medis d'elevada reflexió, com a les superfícies cobertes de neu, poden ocasionar la inflamació immediata i intensa de la còrnia i de la conjuntiva, unes afeccions que reben el nom de fotoqueratitis i fotoconjuntivitis, conegudes comunament com a ceguetat de la neu, i provoquen la pèrdua momentània de la visió, generalment reversible, però que poden deixar seqüeles més o menys greus, fins i tot la ceguetat permanent. D'altra banda, exposicions perllongades al llarg dels anys poden donar lloc a diverses patologies cròniques. Els efectes de les exposicions d'aquests tipus a l'exterior de l'ull es manifesten per la seva intervenció en la formació de càncer de conjuntiva i de còrnia, així com de pterigi, que afecta també la conjuntiva nasal i l'interior de l'ull, per la participació en el desenvolupament de melanomes i cataractes (McMichael *et al.*, 2003; Gruijil, 2000; Lucas i McMichael, 2005; Gallagher i Lee, 2006; Gruijil i Van der Leun, 2000; Lucas i McMichael, 2005). A diferència de la moderada aclimatació de l'organisme als impactes de la radiació ultraviolada a la pell, no s'ha apreciat cap adaptació davant els efectes de la radiació ultraviolada pel que fa a les cataractes, afeccions a les quals són sensibles persones de totes les races. El risc de contraure aquesta malaltia depèn, essencialment, de la intensitat de la radiació i del temps d'exposició.

Els impactes de la radiació ultraviolada poden alterar les funcions del sistema immunològic. Aquest complex sistema és capaç de generar una diversitat de reaccions destinades a fer front a les agressions dels elements estranys que entren en contacte amb l'organisme humà, sobretot les exercides pels agents causants de malalties. Encara que la mateixa complexitat del sistema immunològic amagui no pocs enigmes, sembla prou clar que l'exposició excessiva a la radiació ultraviolada pot alterar-lo, per bé que es tracta d'un tema que mereix la dedicació de posteriors investigacions (McMichael *et al.*, 2003b; Bunyavanich *et al.*, 2003). Una limitació de la capacitat immunològica significa un increment de la vulnerabilitat davant malalties infeccioses en general, facilita l'evolució d'alguns càncers i redueix els efectes de les vacunes, sobretot d'aquelles que s'hagin d'administrar per via intradèrmica (McMichael *et al.*, 2003). Pel que fa a la possible relació entre la reducció de la capacitat immunològica provocada per un excés d'exposició a la radiació ultraviolada i el desenvolupament d'alguns limfomes, existeixen opinions contradictòries, mentre uns treballs reconeixen que hi ha una relació directa (Bentham, 1996), altres destaquen que, entre les víctimes dels limfomes, s'ha observat un increment de la probabilitat de contraure carcinomes cutanis (Adami *et al.*, 1995), o que l'exposició a la radiació ultraviolada representa un perill menor per a la gènesi de limfomes que per a la formació de càncers de pell (Weir, 2001), i uns altres, contràriament, no admeten cap relació entre l'exposició als raigs solars i l'aparició de limfomes (McMichael i Giles, 1996; Newton, 1997) o qualifiquen aquesta relació d'especulativa i controvertida (Moller *et al.*, 2002) o, àdhuc, admeten que la relació entre l'exposició a la radiació ultraviolada i determinats limfomes és inversa (Hu *et al.*, 2004; Ekström *et al.*, 2005).

Als efectes directes d'un excés d'exposició a la radiació ultraviolada, cal afegir les possibles conseqüències indirectes derivades dels impactes provocats sobre altres éssers vius, essencials per a l'alimentació humana. L'exposició de les plantes a la radiació ultraviolada és absolutament imprescindible perquè puguin mantenir la seva funció clorofil·lica, indispensable per al mante-

niment de la mateixa planta i per al sosteniment directe o indirecte del regne animal. Tanmateix, una excessiva exposició podria alterar la fotosíntesi, reduir el seu creixement i augmentar la seva susceptibilitat front a possibles malalties. Altres alteracions impliquen modificacions genètiques i canvis morfològics de difícil previsió, no necessàriament negatives amb relació a tot allò que suposa la producció vegetal com a base del manteniment d'altres éssers vius, que fins i tot podria esdevenir positiva en el rendiment de determinades espècies de plantes importants per a l'alimentació animal i humana, però que també podrien ocasionar pèrdues en el rendiment de collites imprescindibles per al manteniment de la població, actualment deficitari en gran nombre de països en vies de desenvolupament. Alguns dels possibles efectes positius, justament vindrien també afavorits per l'increment de les temperatures i del diòxid de carboni, els quals, amb suficient subministrament d'aigua, intensificarien potencialment la producció de les collites. Nogensmenys, simulacions realitzades sobre la producció del blat i de l'arròs, suposant uns determinats increments de CO_2 i radiació ultraviolada per a 2050, indiquen que els impactes dels efectes adversos de la radiació ultraviolada excedirien als beneficiosos (Teramura, Sullivan i Ziska, 1990).

Un increment de la radiació ultraviolada afectaria sobretot els ecosistemes aquàtics, el manteniment dels quals es fonamenta en la producció fotosintètica d'un ampli nombre de varietats de fitoplàncton, inici d'una cadena alimentària que comprèn diverses espècies animals, aquàtiques i terrestres. L'augment de les taxes de radiació ultraviolada que assoleixen la superfície de les aigües i nivells propers poden alterar la vida i la reproducció de la majoria dels organismes que constitueixen el fitoplàncton, així com danyar els ous i larves d'altres espècies aquàtiques (Koubenberg *et al.*, 1999). Certament, però, algunes espècies són escassament sensibles a les variacions de les taxes de radiació (Keller *et al.*, 1997). Les possibles, per més que incertes, reduccions de la producció vegetal i aquàtica també podrien afectar indirectament la salut humana, en tant que un hipotètic descens de la producció d'aliments suposaria una re-

ducció de la ja deficitària dieta de gran part de la humanitat.

Si bé una sobreexposició a la radiació solar en general i a la ultraviolada en particular és responsable del desencadenament o intensificació de lesions o patologies com les que s'acaben d'assenyalar, el manteniment d'una sèrie de funcions orgàniques essencials per a la conservació de la salut requereix el concurs de la radiació ultraviolada. Són precisament els raigs UVB els que penetren a través de l'epidermis i subministren l'energia necessària perquè l'organisme pugui produir, a patir de metabòlits que mai no falten en persones ben alimentades, la provitamina D que, posteriorment, serà transformada en la vitamina corresponent, la qual intervé en diferents funcions orgàniques i és imprescindible en el metabolisme del calci i el fòsfor. La manca de vitamina D ocasiona raquitisme, malformacions òssies, alteracions en el sistema immunològic i deficiències en el creixement. La insuficiència de vitamina D s'ha relacionat amb un ampli nombre de malalties, com tuberculosi, limfomes i leucèmies, diabetis i moltes altres, fins i tot una no infreqüent, però encara poc coneguda, com és la psoriasi (Holick, 1994; Bellamy, 2000; Wilkinson *et al.*, 2004). En definitiva, l'organisme humà necessita, ineludiblement, estar exposat a una determinada taxa de radiació ultraviolada per al manteniment del seu estat de benestar i salut, de la qual no en pot prescindir si vol evitar totes aquestes patologies, però que tampoc ha d'ultrapassar significativament si pretén prevenir unes altres. Es tracta, doncs, de mantenir acurat un equilibri entre exposicions insuficients i excessives (Norval *et al.*, 2007). La recepció de les taxes mínimes necessàries de radiació ultraviolada per al manteniment de les quantitats de vitamina D que requereix l'organisme humà només precisa la presència a l'aire lliure tres o quatre dies per setmana durant un termini que Samanek *et al.* (2006) han estimat per a Austràlia entre uns 8 i 10 minuts, a qualsevol hora del dia, preferiblement a l'estiu, abans o després de les 10 a les 15 hores.

21.3.3. Acords destinats a la protecció de l'ozó estratosfèric: primers efectes positius

Treballs realitzats als Estats Units en la dècada 1970-80 assenyalaren els perills que represen-

tava la presència de clorofluorocarbonis a l'estratosfera per al manteniment de la integritat de la proporció d'ozó allí present, fins el punt que, l'any 1976, la National Academy of Sciences manifestà que els clorofluorocarbonis vessats a l'atmosfera destrueixen l'ozó estratosfèric i que seria imprudent acceptar l'increment d'aquests gasos arreu del món (Lucas i McMichael, 2005). Després d'haver manifestat la preocupació per aquest fet i arbitrat les primeres mesures destinades a la protecció de l'ozó estratosfèric, 20 països adoptaren, l'any 1985, la Convenció de Viena destinada a aquesta finalitat i, dos anys més tard, el 1987, es signà, per part de 36 nacions, el Protocol de Mont-real sobre substàncies que redueixen la capa d'ozó, amb el propòsit de limitar la producció dels productes químics capaços de debilitar l'ozó estratosfèric i aconseguir la reducció de l'emissió de clorofluorocarbonis a la meitat l'any 2000. El protocol entrà en vigor dos anys després, quan ja era patent la necessitat d'escurçar els terminis acordats per a la limitació i prohibició total de la fabricació d'aquests productes. Amb aquesta intenció, tot seguit, s'acordà la introducció d'esmenes al Protocol de Mont-real, primer a Londres, l'any 1990, i dos anys més tard, a Copenhaguen. Noves reunions aconsellaren la limitació d'altres productes reductors de l'ozó, primer fou l'Acord de Viena de l'any 1995 i, després, l'Ajustament de Mont-real de l'any 1997 i l'Ajustament de Beijing de 1999 recomanaren la fi de la producció d'halocarburs als països desenvolupats per a l'any 2020 i als països en vies de desenvolupament per al 2040.

Malauradament, la vida mitjana dels halocarburs és extremadament llarga, raó per la qual, fins i tot en cas que es respectin els acords i recomanacions adoptades per a la limitació de la seva producció i consum, la destrucció d'ozó no s'aturarà immediatament i persistirà encara un cert nombre d'anys. Tanmateix, a partir de l'any 2000, s'ha començat a apreciar una lleugera recuperació, malgrat que aquest mateix any el debilitament de la capa d'ozó, conegut com a "forat d'ozó", sobre l'Antàrtida fou el més gran dels enregistrats, però, els anys 2001 i, més encara, 2002, aquest forat experimentà una apreciable reducció, un fet que no representa l'inici d'una clara tendència cap a la recuperació, ja que

novament es constatà un increment del forat els anys 2003 i 2004, i s'espera un debilitament màxim de la capa d'ozó dins el primer decenni del segle XXI (Kovats, Ebi i Menne, 2003). En definitiva, la recuperació de l'ozó estratosfèric no esdevindrà fins que hi hagi una substancial reducció dels CFC i altres productes capaços de destruir-lo (Lucas i McMichael, 2005). A més, cal no oblidar que la previsible continuïtat de l'escalfament de la baixa troposfera implica un refredament de l'estratosfera i, per tant, un factor coadjuvant en la destrucció d'ozó.

Catalunya, gràcies a la seva situació latitudinal, no és dels països amb més riscos de patir els possibles efectes d'un increment de les taxes de radiació ultraviolada provocat per la reducció de l'ozó estratosfèric, però els impactes ocasionats per un excés d'exposició directa als raigs solars pot desencadenar o intensificar tots els de processos patològics al·ludits i àdhuc alguns més, encara que es vagi produint una constant recuperació de la capa d'ozó a l'estratosfera. Es tracta d'uns riscos d'entitat més que suficient per procurar evitar-los. En primer lloc, cal extremar l'acompliment dels acords internacionals destinats a reduir la destrucció de l'ozó estratosfèric, vigilant no només l'aplicació de les normes adoptades, sinó també cuidant la informació i educació de les persones, a fi i efecte que col·laborin en tot allò que signifiqui un risc de deteriorament d'aquest gas. D'altra banda, també cal informar la població dels perills dels excessos d'exposició als raigs solars, sobretot si les exposicions són llargues i continuades i sobre la possibilitat d'evitar-les. Particularment, s'hauria d'insistir sobre els perills que comporta l'exposició estiuenca a vora mar durant les hores centrals del dia i prendre les mesures de protecció que s'escaiguin convenients per a tothom, però primordialment per als nens petits, els quals podrien patir les conseqüències immediatament i també anys més tard. Així mateix, convindria que les informacions meteorològiques facilitades ordinàriament pels diferents mitjans de difusió social sovintegessin més les dades sobre radiació ultraviolada que ocasionalment faciliten. Més difícil seria, però no impossible, l'adopció de mesures de protecció per part de les persones que han de romandre molt de temps a l'aire lliure per raons professionals.

En canvi, no representa cap mena de risc per als habitants de Catalunya una hipotètica manca d'exposició a la radiació solar. Les condicions climàtiques del país permeten que la simple circulació pel carrer o el camp, no necessàriament diària, o fins i tot la permanència a casa prop de les finestres o balcons, sigui suficient perquè l'organisme disposi de prou radiació ultraviolada per garantir la síntesi de la vitamina D i evitar les conseqüències que la seva manca comportaria.

21.4. Canvi climàtic i malalties infeccioses

Molt abans del descobriment dels microbis i l'establiment dels fonaments de la moderna epidemiologia, en temps que es remunten al món clàssic, ara fa uns 2.500 anys, autors anteriors fins i tot a Hipòcrates ja havien assenyalat que les malalties contagioses eren sensibles al clima. Des de llavors, mai no s'ha deixat de creure que la transmissió d'aquestes malalties és sensible a les condicions ambientals en general i atmosfèriques en particular, determinants de l'estacionalitat de moltes d'aquestes malalties.

21.4.1. La transmissió de les malalties infeccioses

Tanmateix, els mecanismes subjacents de les transmissions de persona a persona no són encara ben entesos i la multiplicitat de factors que hi intervenen constitueixen una bona oportunitat de col·laboració entre microbiòlegs, epidemiòlegs, ecologistes estadístics, especialistes del clima i planificadors (Fisman, 2007). Una vegada coneguda la naturalesa biològica dels agents causants de les malalties infeccioses, essencialment fongs, protozous, bacteris o virus, així com de la majoria dels vectors capaços de transmetre aquests agents, principalment mosquits, mosques o altres insectes i aranyes, restà fora de dubtes la incidència del clima en l'encomanament i difusió de tals malalties. La transmissió directa d'una malaltia infecciosa entre una persona malalta o portadora d'agents patògens i una sana ha de menester el contacte físic entre ambdues o l'exposició a les petites gotes de saliva expel·lides en parlar o respirar. Les transmissions d'aquest tipus, o les molt menys freqüents entre un animal i una persona, són pràcticament alienes a les condicions ambientals, ja que els agents patò-

gens no entren en contacte amb el medi o ho fan només un curt espai de temps. Però la major part de les malalties infeccioses es transmeten entre persones, no directament, sinó que ho fan mitjançant la intervenció d'un vehicle físic o d'un vector, com els abans al·ludits. Els vectors més nombrosos són animals poiquiloterms, preferentment insectes o aràcnids, les femelles dels quals necessiten alimentar-se de la sang de mamífers o altres animals homeoterms per tal de garantir la seva reproducció. Al xuclar la sang de malalts, ingereixen agents patògens que posteriorment s'encarregaran de transmetre a altres persones víctimes de les seves xuclades. Les transmissions d'aquest tipus, així com les que es produeixen a través d'un medi físic, són sensibles al clima i avatars atmosfèrics: els agents patògens han de suportar les condicions mediamambientals durant part del seu cicle de vida, de difícil o impossible desenvolupament fora d'uns determinats paràmetres atmosfèrics. Malgrat els progressos assolits en l'estudi dels impactes dels canvis ambientals en general i del canvi climàtic en particular en la transmissió de les malalties infeccioses, la seva comprensió encara és en un primer estat de desenvolupament (Tabachnick, 2009).

21.4.2. Impactes del canvi climàtic en la transmissió de malalties infeccioses

La transmissió indirecta de malalties per part dels vectors depèn de la supervivència i taxa de reproducció del propi vector, del seu nivell d'activitat en cada època de l'any i del ritme de desenvolupament i reproducció de l'agent patògen en el si del vector (Kovats *et al.*, 2001). El canvi climàtic pot alterar la distribució de les espècies dels vectors, incrementant o disminuint l'espai que colonitzen, segons siguin favorables o desfavorables les condicions per a la seva reproducció. La temperatura és l'element del clima que més influeix en la reproducció i la maduració de l'agent infecciós dins de l'organisme del vector i en la supervivència del mateix vector i, per tant, en la transmissió de les malalties infeccioses. La freqüència dels contagis també depèn d'altres paràmetres climàtics, principalment de les precipitacions, la humitat de l'aire i del sol, el vent, la insolació i el nivell del mar (Patz *et al.*, 2003).

Totes aquestes variables són susceptibles, en alguna mesura, d'esdevenir alterades pel canvi climàtic.

Les temperatures extremes poden comprometre o acabar amb la supervivència d'agents i vectors responsables de provocar i transmetre malalties infeccioses, però els increments termomètrics pronosticats pels escenaris de canvi climàtic de general acceptació poden generar efectes diferents segons les condicions inicials de cada regió o àrea afectada. Allà on un vector visqui sota unes condicions de temperatura mitjana properes al límit superior de la seva tolerància, un petit o discret increment de la temperatura pot comportar la fi de la transmissió d'agents patògens. En canvi, aquells indrets on els vectors sobreviuen en medis de temperatura mitjana relativament baixa, un moderat escalfament pot provocar un increment de l'activitat reproductora dels vectors, per al manteniment de la qual han de menester el consum de més sang procedent d'animals homeotermes. Això exigeix ordinàriament un increment del nombre de contactes amb persones i del risc de contagi. A més, un canvi de les temperatures pot alterar la durada de l'estació en què es produeixen les transmissions (Gubler *et al.*, 2001). El canvi climàtic probablement provocarà modificacions importants en la incidència i distribució de les malalties infeccioses, el millor coneixement de les quals requerirà la comunicació interdisciplinària entre professionals sanitaris, veterinaris, especialistes en el medi ambient, ecologistes, geògrafs i economistes (Greer, Ng i Fisman, 2008).

Un vehicle ben diferent al representat pels insectes, aràcnids o altres vectors de tipus biològic, és l'aigua. L'organisme humà pot resultar contagiats per agents patològics continguts a l'aigua ingerida en beure o juntament amb aliments, així com per simple contacte amb aigües contaminades per motius d'oci o d'higiene. Òbviament, la presència de gèrmens a l'aigua està condicionada, en primer lloc, per la temperatura, però també per les precipitacions, de les quals depèn la disponibilitat d'aigua destinada al consum domèstic i la higiene. Les precipitacions excessives poden arrossegar restes orgàniques, sobretot si provoquen el trencament de conduccions d'aigües residuals. Els períodes secs, en tant que forcen la utilització d'aigües contaminades,

també representen un risc de propagació de malalties infeccioses.

A més, són molts els estudis que ha establert una incidència indirecta del clima en l'encomanament i transmissió de malalties infeccioses identificant relacions entre l'episodi El Niño, també anomenat ENSO, segons les sigles del seu nom en anglès, i l'increment del risc de contraure algunes d'aquestes malalties a diferents llocs del món, propers uns i ben allunyats altres, de les costes sud-occidentals d'Amèrica. Aquestes relacions tenen l'avantatge de formular determinats pronòstics probabilístics per als mesos o tot l'any següent a l'adveniment periòdic de cada episodi. El fenomen ENSO s'ha relacionat amb el risc de contraure diferents malalties encomanadisses, ja es tracti del paludisme (Poveda *et al.*, 2001; Bouma, 2003; Udeenfeldt *et al.*, 2004; Anyamba *et al.*, 2006; Thomson *et al.*, 2006), el dengue (Haines i McMichael, 1999; Hales *et al.*, 1999; Checkley *et al.*, 2000; Gagnon, Bush i Smoyer-Tomic, 2001; Kovats i Bouma, 2002), la leishmaniosi (Patz *et al.*, 2000; Franke *et al.*, 2002), el còlera (Pascual *et al.*, 2000; Lipp, Huq i Colwell, 2002; Rodó *et al.*, 2002; Koelle *et al.*, 2005), processos diarreics (Checkley *et al.*, 2000; Salazar-Lindo *et al.*, 1997), afeccions cardiovasculars (Gerber *et al.*, 2006) o altres patologies causades per agents patògens. Nogensmenys, Kovats *et al.* (2003), recomanen no fer ús de les possibles relacions entre els episodis El Niño i la salut per inferir el potencial impacte del canvi climàtic.

Tot i que la propagació de les malalties infeccioses sigui sensible a les variacions de les condicions atmosfèriques, un recent treball mostra que, malgrat l'escalfament global del darrer segle, encara és petita l'evidència que el canvi climàtic hagi afavorit ja les malalties infeccioses. Això contrasta amb les projeccions inicials molt més preocupants (Lafferty, 2009). Les relacions entre el clima i les malalties encomanadisses és complex i requereix una avaluació rigorosa. Per diferents raons, el canvi climàtic no necessàriament comporta un increment en la distribució geogràfica d'aquestes malalties. Moltes espècies d'agents patògens han augmentat i disminuït els límits de la seva tolerància termomètrica. Això determina que canvis en el clima sovint condueixin a

desplaçaments i no a expansions dels hàbitats de cadascun dels diferents agents patògens (Lafferty, 2009). D'altra banda, l'origen de l'emergència i reemergència de determinades malalties en els darrers decennis, les quals assoliren unes taxes màximes durant la dècada 1980-90, està relacionat amb factors socioeconòmics, mediambientals i ecològics, si bé la majoria dels estudis científics existents han ignorat els espais de baixes latituds d'Àfrica, Àsia i Amèrica, i s'han dedicat a territoris on és menys probable el desenvolupament d'aquestes patologies (Jones *et al.*, 2008).

Cal no oblidar que la transmissió de malalties infeccioses, donada la presència d'agents patògens en malalts o reservoris i de vectors capaços de transportar-los, no només depèn del clima i els avatars meteorològics, sinó també de les condicions demogràfiques, econòmiques i socials que emmarquen la vida dels habitants de cada país, les quals inclouen, en primer lloc, la situació mèdica i sanitària, la formació, els hàbits i les tradicions de la població, la qualitat dels hàbitats i l'alimentació.

Els impactes més grans del canvi climàtic sobre les malalties infeccioses es manifestaran previsiblement als extrems de l'interval de temperatures requerit per a la seva transmissió, que, per a bon nombre de casos, el límit inferior es situa entre 14 i 18 °C i entre 35 i 40 °C el superior (Githeko *et al.*, 2000). És per això que afectarà de manera desigual territoris diferents. Si les temperatures se situen per sobre del límit superior, fins i tot pot significar la interrupció de les transmissions, tot i que les temperatures de similar quantia poden ocasionar processos patològics no infecciosos. Però els impactes de més repercussió correspondran previsiblement els escalfaments respecte a l'interval inferior, sigui perquè escurçaran el període d'incubació i, per tant, provocaran una intensificació de la seva reproducció, sigui perquè estendran les àrees susceptibles de ser afectades. Això comporta una possible ampliació dels hàbitats de diferents espècies d'insectes de latituds tropicals cap a latituds temperades (Zell, 2004). Si s'arribés a produir una expansió d'aquest tipus, i proliferessin sobre la península ibèrica nous vectors, no només de procedència africana, sinó també d'altres continents, especialment d'Àsia, no es podria descartar l'aparició

de brots de determinades malalties actualment desconegudes a Europa o la reintroducció d'altres que eren freqüents en temps passats. De tota manera, és reduït, fins i tot mínim o quasi nul, el risc d'establiment d'àrees epidèmiques a la península ibèrica, malgrat la proximitat del continent africà, i particularment a Catalunya, la qual cosa requeriria un cúmul de circumstàncies, principalment la concurrència massiva de malalts o reservoris i el deteriorament de les condicions econòmiques i socials, així com dels serveis de salut pública (López-Vélez i Molina, 2005).

Si bé no sembla previsible que, en el pitjor dels escenaris possibles, una de les conseqüències del canvi climàtic sigui la provocació de brots epidèmics o àrees endèmiques a Catalunya, tampoc seria prudent negar que això pugui succeir algun dia. Ben recent és l'assentament, a partir de l'any 2004, del mosquit *Aedes albopictus*, conegut popularment com a "mosquit tigre", primer a Sant Cugat i gran part del Vallès Occidental i, posteriorment, a diferents comarques, sobretot entre les situades a tota la franja costanera (Roiz *et al.*, 2007a; Roiz *et al.*, 2007b). Procedeix de les selves del sud-est d'Àsia i ha arribat a diferents països d'Europa, preferentment als propers a la costa mediterrània, enmig de pneumàtics usats, tot aprofitant petits tolls d'aigua formats al seu interior. L'actual escalfament possiblement ha afavorit la supervivència i difusió del mosquit, però no sembla que hagi representat un paper decisiu. A més de produir picadures doloroses, aquest mosquit pot comportar-se com a vector d'algunes malalties. No és segur que fóra responsable d'un petit nombre de casos d'infeccions pel virus Chikungunya detectats a Catalunya els anys 2006 i 2007, més aviat tot el contrari, ja que sembla afectaren persones procedents de l'Índia o d'altres països tropicals, però cal tenir en compte que poden transmetre el virus i causar aquesta malaltia i que al nord-est d'Itàlia, on es detectà la presència de l'*Aedes albopictus* l'any 1990, es produí un brot d'infeccions per virus Chikungunya, l'any 2007, que patiren més de 200 malalts, un dels quals, de 85 anys, morí (Enserink, 2007; Rezza *et al.*, 2007; Senior, 2008). L'origen d'aquest brot fou un viatger procedent de l'Índia que arribà a una àrea colonitzada pel mosquit tigre (Sánchez-Seco

et al., 2009). Fora d'algun possible cas similar a l'al·ludida víctima mortal, la malaltia produeix febre, cefalees, dolors musculars i lleus hemoràgies. Aquests símptomes es mantenen entre una i dues setmanes, però els pacients solen patir una fatiga perllongada durant mesos. Es tracta d'una malaltia encara rara a Europa, malgrat que l'Organització Mundial de la Salut reconegué l'existència, arreu del món, de més d'un milió de casos sospitosos de patir-la l'any 2006 i uns 56.000 l'any 2007. Si bé els casos detectats a Catalunya afectaven exclusivament immigrants o viatgers procedents de països tropicals, de manera similar a com foren enregistrats més 1.000 casos entre viatgers que retornaren a Europa i als Estats Units, procedents d'àrees que patien brots de la malaltia (Charrel, De Lamballerie i Raout, 2007), el brot d'infecció pel virus Chikungunya detectat a Itàlia representa un precedent susceptible de repetir-se a altres territoris de la conca septentrional de la Mediterrània i, per tant, a Catalunya, particularment a les comarques litorals infestades per l'*Aedes albopictus*. Afortunadament, el mosquit tigre que experimentà una forta expansió l'any 2008, sembla haver sofert una lleugera regressió en 2009, segurament gràcies a la manca de precipitacions, tan desitjades per altres raons, i a l'ambient sec predominant des de finals de la primavera fins al setembre.

Les actuals condicions sanitàries de Catalunya permeten confiar que, malgrat es produeixi un increment de les temperatures mitjanes d'uns 2 °C, les malalties infeccioses de transmissió hipotèticament sensible al canvi climàtic romandran controlades al país. El canvi climàtic constituirà només que una part, potser la més important, però no l'única de les alteracions ecològiques o mediambientals que s'estan produint i, quasi amb total seguretat, lluny d'aturar-se, s'incrementaran els propers decennis. La desforestació, els canvis en l'ús del sòl, els assentaments humans, les grans obres públiques, especialment determinats sistemes de control de l'aigua que inclouen embassaments, canals i sistemes de reg, juntament amb el clima, han provocat, a altres territoris, increments significatius de determinades malalties infeccioses. Els efectes i conseqüències sobre la salut de tots aquests factors que propicien la proliferació de vectors

transmissors d'agents patògens estaran condicionats o determinats, en bona mesura, per l'evolució d'altres elements ambientals i per la situació socioeconòmica de cada país. Les dificultats i carències sanitàries i econòmiques que pateixen determinats sectors de la població constitueixen un motiu més de preocupació davant la previsible degradació mediambiental (Campbell-Lendrum *et al.*, 2002). La pobresa i les condicions de vida representen un increment dels riscos per a la salut que generarà aquesta degradació, sobretot als països en vies de desenvolupament amb menys recursos, però també a les nacions desenvolupades que compten amb més disponibilitat de tot tipus de béns. Així, diferents malalties transmeses per vectors es troben àmpliament representades a Europa i són les millor estudiades amb relació als efectes del canvi climàtic (Semenza i Menne, 2009). Algunes d'aquestes malalties són endèmiques a determinats territoris del continent i es podrien estendre cap a àrees properes, altres poden catalogar-se com emergents o reemergents i, en principi, no sembla impossible que puguin esdevenir una amenaça per a la salut dels habitants de Catalunya, per bé que actualment, i en un futur proper, només signifiquin un perill mínim o menyspreable, però no inexistent.

El paludisme o malària és la malaltia infecciosa més estesa al món i afecta sobretot els països tropicals i equatorials, on centenars de milions de persones la pateixen. Quatre espècies de protozous del gènere *Plasmodium* són els agents causants i unes 70 espècies de mosquits del gènere *Anopheles* els vectors necessaris per a la transmissió de l'agent. Històricament, el paludisme estigué present per tota Europa, fins i tot a Escandinàvia, i es considera la probable causa de la mort d'Alexandre el Gran i d'alguns papes. Però, arran de la introducció d'insecticides eficaços, que permeteren l'eliminació del vector transmissor dels agents patògens, i gràcies als esforços dedicats al control de la malaltia, el paludisme fou eradicat del continent finalment l'any 1975 (Semenza i Menne, 2009). Malgrat haver estat una malaltia no rara a la Gran Bretanya fins a mitjan del segle xx (Hutchinson i Lindsay, 2006), no s'ha detectat al país cap infecció secundària amb posterioritat a 1953, tot i haver importat des

d'aquest any més de 52.000 casos i sembla que el restabliment de brots de paludisme al país és improbable (Kuhn *et al.*, 2003). Això no obstant, tenint en compte els antecedents històrics, no és impossible la seva reemergència afavorida per l'actual escalfament, raó per la qual s'aconsella mantenir la vigilància davant possibles transmissions en els propers anys (Lindsay i Joyce, 2000; Lindsay i Thomas, 2001; Berrang-Ford *et al.*, 2009). Les campanyes d'eliminació iniciades a finals del decenni 1940-1950 i el Programa d'eradicació global engegat en 1955 només fou efectiu a Europa, Amèrica del Nord, el Carib i parts de la resta d'Amèrica i d'Àsia, però no a l'Àfrica subsahariana, que encara pateix el 80% dels casos de paludisme existents actualment (Tanner i De Savigny, 2008). Fins els últims anys, els esforços per intentar una eliminació o, millor, eradicació de la malaltia a Àfrica han estat totalment insuficients. En primer lloc, per l'extraordinària complexitat i dificultats existents per lluitar contra l'agent i el vector, però també, lamentablement, per les limitades possibilitats socials i econòmiques dels països on el paludisme és endèmic. L'eliminació no és possible amb els mitjans corrents (Tanner i De Savigny, 2008), però, actualment, sembla haver merescut més interès que anys enrere i es dediquen treballs i recursos econòmics per controlar la malaltia (Guerra *et al.*, 2007; Roberts i Enserink, 2007; Hay, Smith i Snow, 2008).

El canvi climàtic ha estat invocat en diferents treballs com a responsable d'incipients expansions o contraccions dels territoris castigats per l'epidèmia (Loevinshon, 1994; Lindsay *et al.*, 2000; Githeko i Ndegwa, 2001; Ebi *et al.*, 2005). Alguns estudis fins i tot preveuen un gran increment de les poblacions de risc per als darrers decennis de l'actual segle XXI (Martens *et al.*, 1999), però són pocs els que estableixen pronòstics fiables referents a territoris extratropicals i, concretament, al·lusius a Europa, especialment al sud del continent, potencialment susceptible de patir, amb l'augment de les temperatures, possibles invasions de vectors del paludisme i d'altres malalties procedents del continent africà. Un estudi estimatiu dels efectes del canvi climàtic sota futurs escenaris preveu un increment a Portugal del nombre de dies anuals aptes per a la

transmissió del paludisme; no gensmenys, subratlla que les hipotètiques infeccions dependrien essencialment de la presència de vectors (Casimiro *et al.*, 2006). Paradoxalment, el paludisme era freqüent a Anglaterra, on constituï una important causa de mort des de 1564 fins 1730, el període més fred de la petita era glacial, i tot just començà a decaure la seva incidència ben entrat el segle XIX, quan s'inicià l'actual escalfament, la qual cosa prova que la presència de vectors capaçs de transmetre el paludisme no està estretament relacionat amb l'escalfament climàtic, el qual no representa el principal factor de risc de brots epidèmics de paludisme (Reiter, 2001). Així, encara que les condicions climàtiques puguin afavorir la supervivència i reproducció dels vectors i, per tant, les transmissions autòctones a Europa, la probabilitat que això succeeixi és limitada, gràcies a la disponibilitat de mitjans per al control de possibles casos esporàdics (Rogers i Randolph, 2000).

En definitiva, malgrat haver patit Catalunya transmissions autòctones de paludisme, amb presència d'*Anopheles* als aiguamolls propers a Barcelona fins a mitjan de segle XX, el risc que el canvi climàtic propiciï en el futur transmissions és similar al que pot existir a la Gran Bretanya, tal com assenyalaven treballs anteriorment al·ludits, és a dir, mínim, gràcies al nivell sanitari i condicions higièniques del país, però no absolutament inexistent, raó per la qual no seria prudent prescindir de tot control, sobretot de possibles casos aïllats entre viatgers a països on és endèmica la malaltia i immigrants d'aquesta procedència.

El dengue és una malaltia provocada per l'arbovirus del mateix nom. Presenta dues formes, la més habitual és benigna, mentre que l'altra, l'anomenada forma hemorràgica, és de pronòstic greu, fins el punt que pot provocar la mort entre el 15% i el 50% de les persones afectades. Una enciclopèdia publicada durant la dinastia Chin, que regnà entre els anys 265 i 420, ja feia referència als símptomes d'una malaltia que no devia ser altra cosa que el dengue i, a finals del segle XVIII, es produí la primera pandèmia coneguda d'aquesta malaltia (Gubler, 1998). El vector principal encarregat de la seva transmissió és l'*Aedes aegypti*, però també pot exercir aquest paper l'*Aedes albopictus*, l'esmentat mosquit tigre present

a Catalunya des de 2004. A la segona meitat del segle xx, la incidència del dengue es reduí arreu del món. A Amèrica, tan sols les illes del Carib i regions continentals pròximes no aconseguiren lliurar-se de la malanança, però posteriorment ha tornat a estendre's sobre una superfície igual o superior a la que havia afectat prèviament, fins el punt que, abans d'acabar el segle, la malaltia ja havia ocasionat algun brot greu i uns quants de lleus a diferents països de l'Amèrica tropical i subtropical (Rigau-Pérez *et al.*, 1998).

La temperatura constitueix un factor essencial en la transmissió del dengue, el vector principal del qual es desenvolupa preferentment en àrees urbanes degradades, sobretot si troben tolls d'aigua, i als estanys dels parcs descuidats (McMichael *et al.*, 1996; Hales i Van Panhuis, 2005; Rosa-Freitas *et al.*, 2006; Barclay, 2008; Dibo *et al.*, 2008). També la humitat de l'aire és decisiva en l'expansió del dengue i una estimació realitzada tenint en compte la possible evolució de la tensió de vapor, a més de les temperatures, anuncia que s'estendrà tant en latitud com en altitud fins que, als voltants de l'any 2085, entre el 50% i 60% de la població mundial viuran sota el risc de contraure el mal, si s'acompleix l'escenari de canvi climàtic IS92a definit a l'informe de l'IPCC de l'any 1992, i només el 35% si el canvi no esdevé (Hales *et al.*, 2002). Un increment de la temperatura podria provocar una extensió del dengue pel sud d'Europa (Semenza i Menne, 2009), on actualment ja s'ha introduït l'*Aedes albopictus*, un dels seus vectors, present, com s'ha assenyalat anteriorment, a les comarques costaneres de Catalunya. De moment, tant sols s'han descrit casos de malalts per dengue entre immigrants i viatgers a regions tropicals i no s'ha detectat cap cas de transmissió autòctona al país. Les condicions dels entorns urbans i sanitàries generals de Catalunya permeten reduir els actuals i propers riscos a la condició de mínims, però no pot descartar-se totalment la possible aparició brots ocasionals en un futur, doncs la presència del vector al·ludit, de moment no eradicat a les comarques properes al litoral, i el seu possible contacte amb viatgers eventuals o immigrants originaris de les comunitats amb dengue endèmic constitueixen els elements necessaris per a l'inici d'un brot potencial que, en tot cas, és de preveure seria controlat.

La febre groga és una malaltia viral, de pronòstic greu, que ocasiona hemorràgies i la mort en un percentatge proper al 40% dels contagiats. Determinats grups de conqueridors hagueren de lamentar, durant les seves activitats a Amèrica, fins a un 90% dels decessos per aquesta malanança. A conseqüència dels contactes amb l'Amèrica tropical posteriors a la conquesta, Espanya acabà patint brots de febre groga que provocaren milers de morts a Barcelona i altres ciutats del litoral mediterrani a mitjan el segle xix. L'*Aedes aegypti*, vector transmissor de la infecció, era present no lluny de les costes meridionals de la Mediterrània, però desaparegué arran dels programes d'eradicació posteriors a la segona guerra mundial. Actualment, no és previsible que el canvi climàtic pugui facilitar una reemergència de la febre groga a Catalunya, doncs, encara que s'hagi vaticinat una possible extensió de les àrees infestades actualment per l'*Aedes aegypti*, degut a l'escalfament global (Shope, 1991; Taubes, 1997) i relacionat amb intensificacions de la malaltia amb episodis ENSO (Díaz i McCabe, 1998), la proliferació de la febre groga depèn menys de les condicions climàtiques que de les activitats humanes i els seus impactes o de les condicions econòmiques, polítiques i socials (Reiter, 2001).

El mot leishmaniosi comprèn un grup de malalties provocades per diferents espècies de protozous del gènere *Leishmania* transmeses per les anomenades mosques de la sorra, uns petits dípters del gènere *Phlebotomus*. Les femelles d'aquests vectors s'infecten en xuclar la sang de persones malaltes o d'animals portadors de l'agent. El paràsit ingerit es reproduïx a l'intestí del vector i l'infesta per a la resta de la seva vida. En posteriors succions de sang a individus sans, és possible la transmissió del paràsit per regurgitació sobre la pell de les víctimes. Alguns tipus o formes de leishmaniosi guareixen sense tractament, però les més greus poden esdevenir cròniques, provocar greus molèsties i limitacions durant anys, o fins i tot la mort.

Les diferents formes de leishmaniosi es localitzen preferentment a les regions càlides d'Àfrica, Àsia i Amèrica i al sud d'Europa. L'increment de la leishmaniosi visceral a Amèrica Llatina ha estat relacionat amb la desforestació i posterior

augment de reservoris de leishmanies i amb la proliferació de les mosques de la sorra, les quals s'han adaptat al medi peridomèstics (Patz *et al.*, 2003). La leishmaniosi és endèmica a moltes parts del sud d'Europa (Senior, 2008; Morillas-Márquez *et al.*, 2010) i constitueix una coinfecció important de la que produeix el virus de la immunodeficiència humana (Githeko *et al.*, 2000). Semenza i Menne (2009) consideren que l'agent transmissor de la leishmaniosi es distribueix al sud d'Europa a latituds inferiors a 45° i a menys de 800 m d'altitud, però, a diferents punts de la península ibèrica, s'ha localitzat a nivells superiors (Morillas-Márquez *et al.*, 2010; Martín-Sánchez *et al.*, 2009). Les dues formes comunes de leishmaniosi, la cutània i la visceral, són presents a tots els països de la conca mediterrània, on les mosques de la sorra la transmeten a persones i gossos. Les temperatures altes probablement propiciaran una expansió cap al nord dels territoris actualment castigats per la malaltia (Githeko i Woodward, 2003; Haines i Patz, 2004). A més, existeix el risc que una de les formes de leishmaniosi cutània, actualment localitzada a l'Àfrica i Orient Mitjà, pugui emergir a la península ibèrica (López-Vélez i Molina, 2005).

A mida que progressi l'escalfament previst pel canvi climàtic, els vectors transmissors de la leishmaniosi, actualment presents a Catalunya, es mantindran actius un nombre creixent de dies al llarg de l'any i el temps de reproducció s'allargarà, de manera que, potencialment, el risc de contagi augmentarà. Malgrat que es tracta d'una afecció controlada, caldrà cuidar i, si s'escau, extreure el seguiment mèdic dels malalts i la vigilància dels possibles reservoris, particularment els gossos, i lluitar contra la proliferació dels vectors, sobretot si s'arriba a observar que el canvi climàtic propicia la seva reproducció i activitat. Més difícil, però desitjable, seria l'eradicació de la mosca de la sorra.

Les encefalitis causades per arbovirus són transmeses per diferents espècies de mosquits i paparres del gènere *Ixodes*, principalment l'*Ixodes ricinus*, contagiats en xuclar la sang d'aus portadores dels virus patògens, que constitueixen els principals reservoris, si bé poden també ser víctimes de la infecció diferents espècies de mamífers, especialment cavalls, així com amfibis i rep-

tils. La transmissió de diferents formes d'encefalitis requereix temperatures ordinàriament superiors a 20 °C a l'estiu, però la seva capacitat transmissora d'arbovirus és possible entre 10 °C i 34 °C; tanmateix, aquesta capacitat es redueix fins el punt que, a temperatures clarament properes o superiors a 34 °C, els contagis són poc probables. Un increment de les temperatures fora dels territoris on actualment ultrapassen fàcilment els 30 °C, acceleraria la reproducció del vector i la colonització de nous espais. Probablement, el canvi climàtic ja ha propiciat canvis en la distribució de l'*Ixodes ricinus* a Europa durant els dos últims decennis (Semenza i Menne, 2009) i actualment s'estén des d'Europa occidental fins a les costes del Japó (Lindquist i Vapalahti, 2008). L'expansió del vector ha estat acompanyada per un increment de les encefalitis arbovirals. Estudis realitzats a Suècia han relacionat el creixement del nombre de casos d'encefalitis des de mitjan de la dècada de 1980-1990 amb la suavització i reducció de l'estació freda que ha facilitat la intensificació de l'activitat de les paparres (Lindgren i Gustafson, 2001; Randolph, 2001) i s'ha arribat a preveure una expansió en latitud i altitud a Europa de les àrees de possible contagi de les encefalitis transmeses per aquests vectors (Randolph, 2004). Nogensmenys, els canvis climàtics probablement no són els únics responsables de l'augment de la incidència de l'encefalitis (Gray *et al.*, 2009) i, entre factors potencials, cal incloure transformacions en l'ús del sòl, l'augment d'hostes com rosegadors, ovelles, bòvids i cervols, canvis en les activitats econòmiques, i en el lleure i el turisme (Semenza i Menne, 2009). Les diferències existents entre l'abast de les encefalitis a vuit països evidencien una relació inversa amb els respectius indicadors de pobresa (Randolph, 2010).

El pas d'aus migratòries per la península ibèrica representa una possible font de contagi d'encefalitis per arbovirus sobretot als llocs on s'aturen, com al delta de l'Ebre, territori sobre el qual s'ha comprovat l'existència d'anticossos del virus causant de l'encefalitis de l'oest del Nil, transmesa per mosquits del gènere *Culex* (Lozano i Filipe, 1998). De moment, no sembla que aquesta malaltia representi un perill significatiu ni per al Baix Ebre ni per a les comarques veïnes. És més,

el canvi climàtic podria allunyar de Catalunya el risc de contreure encefalitis transmeses per paparres (López-Vélez i Molina, 2005).

Les paparres, a més d'alguns tipus d'encefalitis, també poden transmetre altres malalties com la borreliosi o malaltia de Lyme, reconeguda com una important infecció emergent a finals del segle passat i descrita per primer vegada a mitjan el decenni 1970-1980 a Lyme (Connecticut) (Steere, Coburn i Glickstein, 2004). Després s'estengué cap al nord, fins al Canadà (Brownstein, Holford i Fish, 2005). Els agents causants són tres espècies d'espiroquetes patògenes del gènere *Borrelia*. La picadura d'una paparra contagiada sol anar seguida d'una erupció cutània migratòria que pot desaparèixer en poques setmanes, però és possible una posterior reproducció. L'erupció va sovint acompanyada de malestar, fatiga general, entumiment de les extremitats i paràlisi facial. Ocasionalment, aquestes manifestacions acaben per agreujar-se i derivar en processos de fibromiàlgia o provocar altres seqüeles. El canvi climàtic, com ja s'ha indicat anteriorment, incrementarà les àrees colonitzades per paparres a bona part del continent europeu, però els possibles estius calorosos i secs hauran de significar una disminució del risc a les comarques litorals i centrals de Catalunya. En tot cas, es mantindran a les contrades pirinenques com a hostes de gossos, ovelles i vaques. El canvi climàtic no sembla representar un increment del risc de contraure la malaltia de Lyme a la major part de les comarques catalanes, sinó tot el contrari si augmenten les temperatures i els estius secs.

La febre hemorràgica de Crimea fou ja descrita al segle XII. Tanmateix, en temps contemporanis, el primer brot informat data dels anys 1944-1945 a Crimea, on es detectaren més de 200 casos, i, deu anys més tard, fou aïllat al Congo un pacient que tenia el mateix antigen (Zavitsanou, Babatsikou i Koutis, 2009). Actualment, la malaltia és present a una trentena de països d'Àsia, Mitjà Orient, sud-est d'Europa i Àfrica (Ergönül, 2006; Tonbak *et al.*, 2006), i Turquia patí un brot, entre els anys 2002 i 2006, confirmat en més de 1.100 pacients (Estrada *et al.*, 2007). El clima pot contribuir a l'expansió de la malanança als diferents països que vore-

gen la Mediterrània, encara que no sigui el factor més significatiu (Randolph, 2010), i seria convenient elaborar una cartografia representativa de les àrees endèmiques de la regió i del punts o sectors de risc d'expansió (Maltezu *et al.*, 2010). Un treball d'aquest tipus seria d'interès per a Catalunya, doncs, encara que mai no s'hagi detectat cap cas de contagi al país, d'acord amb els estudis al·ludits, podria donar-se en el futur, afavorit pel canvi climàtic, tot i que les probabilitats que arribi a succeir realment són reduïdes mentre es mantingui el nivell sanitari i les presents condicions socioeconòmiques.

L'aigua és el vehicle transmissor del còlera i altres afeccions diarriques. L'agent causant del còlera és el *Vibrio cholerae*, un bacteri que per al seu creixement requereix sal, i el seu medi ancestral és el mar, on es manté hoste d'una espècie de zooplàncton, prop de les costes i estuaris. El bacteri contagia les persones que ingereixen aigües contaminades o entren en el seu contacte per raons higièniques o de lleure. El còlera genera un procés agut al budell prim que provoca fortes diarrees, vòmits, tremolors i deshidratació; les formes més greus poden provocar la mort. El pas pels budells humans exacerba extraordinàriament l'activitat del bacteri, fins el punt d'incrementar 700 vegades la capacitat infecciosa (Merrel *et al.*, 2002). L'augment de les temperatures de la superfície del mar propiciarà la reproducció i transmissió del bacteri (Colwell, 1996), alguns brots epidèmics del qual s'han relacionat amb l'ENSO i amb l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord o NAO, segon les sigles de la seva denominació en anglès (LIPP *et al.*, 2002; Rodó *et al.*, 2002; Pascual *et al.*, 2008). L'augment del nivell del mar que previsiblement provocarà el canvi climàtic alterarà la presència de bacteris als estuaris, la qual cosa obligarà extremar el control davant possibles contagis.

Algunes afeccions gastrointestinals o malalties diarriques presenten símptomes similars al còlera, però són més lleus. Estan provocades per vibrions diferents al *Vibrio cholerae*, com el *Vibrio no cholerae* i microorganismes del gènere *Campylobacter*. El contacte amb animals i la ingestió d'aliments, sobretot de pollastre poc cuit, o d'aigua contaminada poden originar brots d'aquests mals, si bé l'origen d'alguns casos encara ofereix

dubtes. Un treball recent relaciona l'increment d'afeccions gastrointestinals causades pel *Campylobacter* i altres agents com la *Salmonella* i l'*Escherichia coli* amb l'augment de les temperatures mitjanes (Fleury *et al.*, 2006), mentre que un altre estudi destaca que la màxima activitat dels rotavirus causants de diarrees s'enregistra a Austràlia durant l'hivern i la primavera i és inferior a l'estiu. Si és així, no sembla que l'escalfament global provocat pel canvi climàtic hagi de comportar un important risc de contraure infeccions provocades per rotavirus. Fins i tot la humitat i les temperatures altes en setmanes s'associen amb un decreixement d'admissions hospitalàries per diarrees provocades per aquest tipus d'agent (D'Souza, Hall i Becker, 2008). La variabilitat estacional resulta important en el risc d'infecció per *Campylobacter*, així, els hiverns provoquen els primers màxims anuals i el seu esdeveniment s'ha relacionat amb un increment de les temperatures en els tres mesos previs (Kovats i Koppe, 2005). Altres gèrmens responsables de patologies diarreiques són diferents espècies de *Cryptosporidium* poc sensibles al canvi climàtic, raó per la qual és de preveure que l'efecte de l'escalfament sigui limitat. El risc de brots d'epidèmics per aquest agent depèn més de la interrelació entre les condicions mèdiques, el manteniment de les infraestructures sanitàries, la capacitat de resposta de les comunitats, el tractament de les aigües i el clima (Casman *et al.*, 2001).

Els darrers brots de còlera soferts a Catalunya no són antics, daten dels anys 1971 i 1979, però el perill que es repeteixin és mínim, realment no impossible, ja que segurament encara sobreviuen a punts de les aigües costaneres. El tractament de les aigües destinades al consum humà representa un mitjà eficaç per evitar tant el risc de nous brots de còlera com d'altres malalties gastrointestinals transmeses per l'aigua. Aquest tractament ha de ser rigorós, perquè alguns microorganismes són resistent a la potabilització de les aigües, com és el cas del *Campylobacter*, causant d'afeccions gastrointestinals, i un possible defecte de funcionament de les depuradores podria provocar brots de la infecció (Balbus i Wilson, 2000). Justament, un brot de diarrea agut esdevingut l'any 1993 a Milwaukee fou causat per una espècie d'aquests gèrmens que travessà el

sistema de filtració de les aigües de la ciutat (Mackenzie *et al.*, 1994).

El progressiu escalfament general és, sens dubte, el tret essencial del canvi climàtic i, a mida que vagin augmentant els increments termomètrics ja iniciats, es produirà una alteració de les condicions ambientals, favorables o no, que determinen la supervivència i reproducció dels vectors transmissors d'una major part de les malalties infeccioses. Seran molts més els que trobaran unes millors condicions que les actuals per al seu creixement i activitat, de manera que possiblement podran contagiar més persones i ampliar la seva colonització a nous territoris, mentre alguns altres veuran minvada la seva activitat i el territori que ocupen. La majoria de les malalties infeccioses potencialment sensibles al canvi climàtic es localitzen a països tropical i equatorials, i castiguen primordialment comunitats que pateixen un manca greu de recursos sanitaris socials i econòmics, de manera desproporcionada en contrast amb els països desenvolupats, els principals culpables de les emissions dels gasos causants del canvi climàtic (Shuman, 2010). Les condicions climàtiques actuals i les disponibilitats sanitàries, socials i econòmiques de Catalunya semblen suficients per minimitzar els riscos de contagi i aparició de brots infecciosos. Tanmateix, un recent estudi ha destacat que les relacions entre ecosistemes, les malalties infeccioses i el canvi climàtic són menys intuïtives en el context dels països més desenvolupats, on el subministrament d'aigua roman controlat, es redueix l'exposició a vectors, els habitatges són de qualitat i compten amb avantatges per mitigar amenaces (Greer, Ng i Fisman, 2008). Encara que no sigui possible avaluar en quina mesura el canvi climàtic afectarà la transmissió de malalties infeccioses a Catalunya, és de preveure que, a grans trets, els seus efectes mantinguin apreciable similituds amb les assenyalades en aquest estudi, realitzat a partir de treballs i experiències referits als Estats Units i al Canadà amb exemples de la Unió Europea i Austràlia, en tot cas a països altament desenvolupats, i que essencialment recull la taula 1. D'altra banda, cal tenir en compte que cada territori serà sotmès a uns determinats riscos fruit de la interacció entre el canvi climàtic i els factors socioeconòmics més

Malaltia infecciosa	Efectes coneguts del temps i el clima	Possible impacte del canvi climàtic
Malalties transmeses per vectors (paludisme, dengue, Chikungunya, malaltia de Lyme, virus de l'oest del Nil)	L'increment de les temperatures escurça el temps de desenvolupament dels patògens i el període de transmissió als humans. El canvi climàtic pot expandir l'àmbit geogràfic i l'abundància d'agents i vectors. L'escalfament i el canvi del règim de precipitacions pot augmentar els animals reservori i el seus predadors. Prolongació del cicles de transmissió. Les inundacions generen àmbits aptes per a la reproducció de vectors i determinats reservoris. Augment del risc de malalties relacionades amb viatges.	L'increment de temperatures, variabilitat de precipitacions i alteració reservàries, és previsible que facin augmentar la transmissió de certes malalties zoonòtiques. Importació de malalties infeccioses a regions on prèviament eren desconegudes. Probables variacions geogràfiques.
Malalties transmeses pels aliments i l'aigua (<i>E. Coli</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Vibrio</i> , <i>Cryptosporidium</i>)	Supervivència i persistència de malalties causades per organismes influenciats per la temperatura. L'augment de temperatures de l'aire i l'aigua facilitarà la proliferació de determinats patògens. El clima condiciona la qualitat i la quantitat d'aigua a l'abast. Les precipitacions intenses faciliten el transport de patògens en el subministrament d'aigua.	L'augment de les temperatures i precipitacions és previsible que facin incrementar la intensitat i freqüència de les malalties transmeses per l'aigua i els aliments.
Malalties respiratòries comunicables (grip, virus sincicial, <i>Streptococcus pneumoniae</i>)		

Taula 1. Efectes del temps i el clima en les malalties infeccioses a Amèrica del Nord i possible impacte del canvi climàtic en la seva incidència.

Font: adaptat de Greer, Ng i Fisman, (2008).

rellevants (Diffenbaugh *et al.*, 2007) i, en el cas de Catalunya, la conjunció de fenòmens tan importants com la recepció de considerables taxes d'immigrants procedents de països més o menys castigats per malalties infeccioses, endèmiques o no, els constants moviments de viatgers en totes direccions i el comerç internacional, ocasionalment portador involuntari d'agents i vectors, representen un cert risc. La introducció de l'*Aedes albopictus* representa un avís i un risc que pugui arribar a produir-se algun contagi en territori nacional, doncs es tracta d'un vector capaç de transmetre diferents agents infecciosos. A més, factors com els canvis en l'ús del sòl i la degradació d'espais urbanitzats, juntament amb els moviments de la població, principalment poden contribuir a la transmissió de malalties infeccioses de manera més important que el canvi

climàtic. L'adopció de mesures preventives, en primer lloc, la lluita contra els vectors, i la disponibilitat de medicaments cada vegada més eficaços hauran d'evitar la proliferació d'aquestes malalties (Saker *et al.*, 2004). Caldria recopilar tots els factors que hipotèticament incideixen en els contagis, i procedir a una anàlisi factorial per avaluar la responsabilitat de cadascun. Mentre això no succeeixi, és absolutament important extremar la vigilància i controls actuals de les persones, però també dels animals malalts o reservoris de vectors i particularment el control de les aigües destinades al consum humà, més tenint en compte les dificultats per evitar el filtratge de certs agents com el *Campylobacter*, origen de l'al·ludit brot d'afeccions gastrointestinals patits a una important ciutat d'un país altament desenvolupat.

21.5. Impactes dels episodis climàtics i meteorològics de caire catastròfic

És probable que el canvi climàtic, a més del pronosticat escalfament general del planeta, es caracteritzi per un increment de la variabilitat dels esdeveniments extrems. Els efectes més importants del canvi climàtic en la salut humana, tant per la gravetat com pel nombre de persones afectades, seran els provocats, directament o indirecta, per la magnitud i freqüència d'episodis extrems de caire catastròfic: inundacions, tempestes i secades (Kovats, Ebi i Menne, 2003). Les projeccions del canvi climàtic definides per a diferents escenaris constitueixen preferentment estimacions de l'evolució i canvis previsibles de les característiques estadístiques de tendència central, essencialment de les mitjanes. Els pronòstics sobre la freqüència i l'abast dels episodis extrems resulten més difícils i solen fer-se a partir d'ajustaments mitjançant distribucions teòriques (Thomson *et al.*, 2000; Palmer i Räisänen, 2002; Campbell-Lendru, Corvalán i Prüits-Ustüm, 2003).

21.5.1. Tempestes i inundacions

Les precipitacions ja han experimentat un lleuger increment a latituds mitjanes i altes de l'hemisferi nord durant la segona meitat del segle xx i un cert retrocés a latituds subtropicals, i és previsible un increment de la freqüència dels episodis de pluges especialment intenses (Ebi, Mearns i Nyenzi, 2003). Les precipitacions de més intensitat són normalment causades per diferents tipus de tempestes i huracans o tifons i poden provocar esclavissades, allaus, riudes i inundacions, l'abast i les tràgiques conseqüències de les quals depenen tant de la intensitat del fenomen que les origina, com de les activitats humanes relacionades amb l'ús del sòl als territoris afectats. Els efectes més immediats sobre la salut d'aquests fenòmens violents són les pèrdues de vides humanes i la provocació de lesions de diferent gravetat, les quals no sempre acaben quan remeten, sinó que poden afectar les persones encarregades de recompondre els danys i ruïnes ocasionades (Epstein, 1999; Greenough *et al.*, 2001; Milly *et al.*, 2002; Kirch, Menne i Bertollini, 2005; McMichael, Woodruff i Hales, 2006a). Els efectes perniciosos per a la salut sovint continuen

amb posterioritat com a conseqüència de reduccions en el subministrament d'aliments, increment de malalties infeccioses transmeses per l'aigua, degut a interrupcions en el seu tractament i subministrament, així com del desbaratament del sistema de desguàs d'aigües fecals (Greenough *et al.*, 2001) i desencadenament de problemes mentals entre les persones més perjudicades que han d'abandonar les seves llars, un aspecte que encara ha estat poc estudiat (Ko *et al.*, 1999). Tots aquests danys poden resultar agreujats per la destrucció de les infraestructures, especialment dels equips mèdics i xarxes de transports. Segons EM-DAT (2009), durant el segle xx, les tempestes causaren més d'un milió de morts al món, 9.519 dels quals a Europa i 107 a Espanya, mentre que les inundacions en provocaren quasi set milions i mig a tot el món, 10.416 a Europa i 1.723 a Espanya.

Els efectes de les tempestes i inundacions sobre la salut a Catalunya són relativament discrets, si es comparen amb els que pateixen els països més castigats per aquests fenòmens. Tanmateix, les inundacions succeïdes al Vallès Occidental el 25 de setembre de 1962 causaren la mort de 441 persones i la desaparició de 374, possiblement un total de 841 decessos, i centenars de ferits. Des de llavors, els decessos per esdeveniments de pluges d'excepcional intensitat i riudes han afectat generalment persones atrapades a l'interior de vehicles inundats i arrossegades per les aigües o víctimes de resultes d'accidents soferts per aquests i altres mitjans de transport. Les gravíssimes conseqüències de les al·ludides inundacions de 1962, així com els efectes de menor abast, però ocasionalment tràgics, que molts anys es produeixen a determinades comarques costaneres, es podrien evitar o, almenys, reduir dràsticament, de no haver-se autoritzat l'ocupació i revestiment dels arenys i gleres dels rius i rieres.

21.5.2. Secades

A més d'un possible increment de les tempestes violentes i inundacions, el canvi climàtic pot provocar una intensificació de la freqüència i abast de les secades, les quals produeixen essencialment efectes indirectes sobre la salut que, en casos extrems, assoleixen extraordinària gravetat

(Wetherald i Manabe, 1995; Hailmariam, 1999; Mkanda, 1999; Palutikof *et al.*, 2002). La salut esdevé afectada essencialment per la manca d'aigua potable per al consum domèstic i per satisfer les necessitats agrícoles i ramaderes. La imperiosa necessitat de recórrer a l'ús d'aigües contaminades representa un indubtable risc de contagi de malalties infeccioses transmeses per l'aigua, com diferents tipus de diarrees i el còlera, i la manca d'higiene propicia la proliferació d'altres afeccions com el tracoma. A més, els petits tolls residuals que resten a mida que el corrent del riu va minvant constitueixen punts apropiats per a la reproducció de molts dels vectors de malalties infeccioses. Tant o més riscos que aquests per a la salut són els deguts a deficiències i mancances en l'alimentació, origen de milers de morts als països més devastats per llargues secades, com és el cas d'Etiòpia. Durant el segle XX, foren més de deu milions les morts ocasionades a conseqüència de les sequeres arreu del món, més d'un milió de les quals tingueren lloc a Europa. Ni Catalunya ni la resta de l'Estat espanyol hagueren de lamentar cap defunció pel mateix motiu.

Encara que el canvi climàtic es manifesti a Catalunya amb uns períodes de manca de precipitacions més freqüents i més llargs que en temps passats, no és de preveure que acabin esdevenint en sequeres susceptibles de comportar un risc per a la salut de la població. En tot cas, els possibles episodis secs podrien provocar danys econòmics. Això no obstant, caldria no oblidar les recents preocupacions de l'any 2008 per garantir el subministrament d'aigua potable a l'àrea metropolitana de Barcelona i, evidentment, s'haurien de prendre les decisions que s'escaiguin per tal d'assegurar amb plenes garanties l'abastament d'aquesta demanda en els propers decennis, sobretot tenint en compte que les previsions per a mitjà i llarg termini suggereixen, com a més probable un descens que no un increment de les precipitacions a Catalunya.

21.6. Canvi climàtic i contaminació atmosfèrica

La formació i transport dels contaminants atmosfèrics o dels seus precursors depèn en bona mesura del temps i el clima. Encara que la produc-

ció de contaminants sigui predominantment un acompanyament del canvi climàtic i no una conseqüència directa del mateix canvi, hi ha importants relacions entre tots dos fenòmens (McMichael *et al.*, 1996). Alguns dels contaminants segueixen un cert ritme estacional determinat pels tipus de circulació i de temps més característics de cada estació (Kassomenos *et al.*, 2001).

21.6.1. Contaminants inorgànics de generació antròpica

La combustió de productes fòssils és la principal font de formació de CO_2 i dels més importants contaminants primaris, monòxid de carboni (CO), òxids de nitrogen (NO_x), diòxid de sofre (SO_2), hidrocarburs i partícules, principalment. A partir de contaminants com els òxids de nitrogen i determinats compostos orgànics volàtils, és possible la formació d'un important contaminat secundari, l'ozó, procés que requereix temperatures altes i la intervenció de la radiació. En algun temps es creia que tot l'ozó es produïa a l'estratosfera, d'on provenia el present a la baixa troposfera, però més de la meitat es genera a l'interior d'aquesta capa atmosfèrica de la manera assenyalada. Tanmateix, la formació d'ozó no és exclusiva dels llocs on es generen els contaminants primaris, ja que els corrents atmosfèrics transporten els precursors a punts més o menys força allunyats, abans que, per acció de la radiació i sota temperatures altes, acabi formant-se aquest contaminant secundari. Atès que les temperatures altes són necessàries perquè es formi ozó a la troposfera, és de preveure que, amb el canvi climàtic, podria augmentar la seva generació. En contraposició a l'ozó estratosfèric que ens protegeix de l'excés de la radiació ultraviolada i que el seu afebliment ha estat i és encara motiu de preocupació, tot i que l'aplicació dels acords per aturar aquest procés mostren indicis optimistes, l'ozó troposfèric constitueix un contaminant nociu per a la salut, a més d'un gas amb efecte d'hivernacle que contribueix a reforçar l'escalfament de la baixa atmosfera i, per tant, el canvi climàtic. Justament, la disminució de l'ozó a l'estratosfera, en permetre el pas d'una taxa més gran de radiació ultraviolada, facilita l'increment de l'ozó a la troposfera, ja que intervé en la seva formació a partir dels contaminants primaris.

Els tipus de temps estables redueixen el transport de contaminants i faciliten la seva concentració a les àrees on es generen, sobretot les grans ciutats, on poden assolir taxes especialment altes i perilloses per a la salut en moments d'inversió termomètrica. Els efectes dels contaminants en la salut dels habitants de les ciutats, exacerbats pels efectes d'illa de calor han estat destacats en molts treballs (Jáuregui, Cervantes i Tejada, 1997; Phino i Manso, 2000; Petroeschovsky *et al.*, 2001; Junk, Helbig i Lüers, 2003; Conti *et al.*, 2005; Grass i Cane, 2008; Zauli Sanaji *et al.*, 2008). Són particularment importants els efectes de la contaminació atmosfèrica en general sobre les vies respiratòries dels infants de menys de tres anys, quan tenen en formació els seus pulmons; tanmateix, encara són pocs els estudis sobre el seu abast (Fuentes, Tenías i Ballester, 2007).

El CO provoca cefalees, fatiga, pertorbació de la visió, confusió mental i, en casos extrems, la mort. Altres contaminants gasosos ocasionen, en general, irritació dels ulls i de l'aparell respiratori i exacerbació de les malalties respiratòries i cardiovasculars. A més d'aquests efectes, els NO_x provoquen la intensificació de l'asma. Aquests gasos són generats per les combustions de productes fòssils i intervenen en la formació d'ozó, juntament amb el qual i altres components fotoquímics pot originar intensos episodis de contaminació capaços d'incrementar la morbiditat i la mortalitat, com succeeix a gran nombre d'àrees urbanes (Ackerman-Liebrich i Rapp, 1999). L'ozó sol actuar conjuntament amb els òxids de nitrogen, ja que la calor i les taxes altes de radiació propicien la seva formació i reaccionen entre ells. L'ozó exacerba diferents afeccions respiratòries, com la pneumònia, l'asma, les malalties pulmonars cròniques obstructives i també afecta els pacients cardiovasculars (Thurston i Ito, 1999; Bell, Domicini i Samer, 2005; Filleuil *et al.*, 2006).

La presència de partícules, com d'altres contaminants, depèn del temps i el clima. En primer lloc, la seva formació, com la dels contaminants gasosos esmentats, no és aliena a les temperatures i les precipitacions i, a més, la permanència o no de les partícules en una determinada àrea, preferentment sobre un espai urbà, està condicionada per l'estabilitat atmosfèrica. És possible que els tipus de temps estables siguin més fre-

qüents a Catalunya a mida que el canvi climàtic vagi imposant-se i les precipitacions disminueixin a pràcticament tot el territori, segons els pronòstics i projeccions recents per a finals del present segle, llevat de les previstes per a l'hivern a l'interior del país i als Pirineus, mentre no s'anuncien modificacions significatives dels vents. Això facilitaria la permanència de partícules, així com d'altres contaminants, sobre les superfícies de formació. Els efectes de les partícules sobre la salut són generalment més importants que els provocats per altres contaminants. Exacerben preferentment les malalties de l'aparell respiratori, però també del circulatori, i propicien la formació de càncer de pulmó (MacNee i Donaldson, 1999; Schwartz, Laden i Zanobetti, 2002; Ibaldo-Mulli *et al.*, 2004; Goodman, Dockery i Clancy, 2004; Dominici *et al.*, 2006; Bell *et al.*, 2009).

Els incendis dels boscos previsiblement augmentaran a tots aquells territoris que, a més d'experimentar un escalfament, hagin de patir una disminució de les precipitacions. Els fums i partícules resultants dels incendis de grans extensions boscoses constitueixen una important font de contaminació atmosfèrica capaç de danyar greument la salut (Frankenberg, McKee i Thomas, 2005). A Catalunya, difícilment podrien representar un greu risc per a la salut de més dimensió que els possibles episodis puntuals, degut a la limitada densitat dels boscos del país i dels territoris veïns. Això no obstant, seria convenient arbitrar mesures preventives que incloguin actuacions a llarg termini i la vigilància constant dels boscos per tal d'evitar fins i tot els incendis ocasionals, a fi i efecte de minimitzar els riscos que, ocasionals o no, poden accidentalment significar per a un reduït nombre de persones. A més, reduir els incendis dels boscos és una manera d'aturar el vessament a l'atmosfera de CO₂ i altres gasos amb efecte d'hivernacle i de mantenir el patrimoni natural.

21.6.2 Contaminants biogenètics

Els contaminants biogenètics estan constituïts principalment per espores, pol·len, bacteris i restes de vegetals en descomposició capaços de provocar danys a la salut. La generació d'aquests contaminants pot esdevenir afectada pel canvi

climàtic, ja que el temps més càlid incrementa l'alliberació i dispersió d'espores i pol·len, allarga el temps d'activitat de les actuals espècies vegetals, i propicia la introducció de noves espècies, potencialment emissores de nous contaminants.

El pol·len és responsable de freqüents afeccions al·lèrgiques a les que són sensibles determinades persones, mentre la gran majoria es mantenen lliures d'aquests mals. L'augment de les temperatures, prou evident els dos darrers decennis, possiblement hagi estat la causa principal de l'increment de la presència de pol·len a l'atmosfera, gràcies al perllongament del temps de l'activitat biològica de diferents espècies de plantes, al qual, sens dubte, ha col·laborat la pressió antròpica exercida sobre els conreus. És possible que, per una o altra raó o per la conjunció d'ambdues, s'hagi produït un increment de determinades al·lèrgies des de la meitat del segle passat, que alguns treballs han relacionat amb el clima (Emberlin *et al.*, 2002). És probable que el canvi climàtic hagi alterat realment l'exposició als al·lèrgogens, però les incerteses existents impedeixen determinar les estratègies més adients per a cada territori. El desconeixement dels efectes dels canvis atmosfèrics, particularment de la interacció de l'ozó i el nitrogen amb el CO₂ i de l'augment de les temperatures en el creixement i fecunditat de les plantes productores de pol·len i suport de fongs, constitueix la principal incertesa (Ziska, Epstein i Rogers, 2008). Això no obstant, no hi ha dubte que l'increment de CO₂ pot alterar els sistemes biològics i provocar un augment de la producció de pol·len al·lèrgogen, com s'ha comprovat que succeeix amb l'*Ambrosia artemisiifolia* i, en conseqüència, és previsible que la producció de pol·len per aquesta i altres plantes generadores de pol·len susceptible de provocar afeccions al·lèrgiques s'incrementi amb el canvi climàtic (Rogers *et al.*, 2006). Justament, s'ha detectat que aquesta planta, el pol·len de la qual és causant de la febre del fenc i de crisis asmàtiques, ha començat els darrers anys a envair Suïssa (Taramcaz *et al.*, 2005). Una anàlisi recent de les dades sobre el pol·len recollides en aquest mateix país durant 38 anys ha comprovat que, degut a l'increment de les temperatures, la floració del bedoll comença actualment uns 15 dies

abans que anys enrere i, a més, la quantitat anual de pol·len generada i la seva concentració diària han experimentat una tendència creixent. Així, com a resultat de l'escalfament, les persones que pateixen al·lèrgia al pol·len poden sofrir cada any els primers símptomes de la seva afecció uns dies abans i uns episodis més severos (Frei i Grassner, 2008). L'anticipació de la floració de bedoll atribuïble a una de les primeres manifestacions de l'escalfament provocat pel canvi climàtic també s'ha observat a diferents països d'Europa (Emberlin *et al.*, 2002). De manera similar, un estudi realitzat al Regne Unit, ha imputat a l'escalfament recent l'actual avançament, respecte de decennis passats, en el començament de la floració i generació de pol·len per part d'altres espècies (Asero, 2002).

La generació de pol·len per la gespa, tant pel que fa al començament com a la durada anual i la intensitat de la seva producció diària no només depèn de les condicions atmosfèriques observades localment, sinó que també s'ha observat la relació amb un patró de baixa freqüència a Europa com és l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord, generalment anomenat NAO d'acord amb les inicials del seu nom en anglès. La influència exercida per la NAO mitjançant els efectes sobre les temperatures i precipitacions varia d'un espai a uns altres, raó per la qual són necessaris estudis regionals per esbrinar l'abast del seu influx en la generació de pol·len al·lèrgogen per la gespa i altres plantes (Smith *et al.*, 2009b).

21.6.3. Contaminants minerals

La desertificació creixent d'àmplies àrees provocada per efecte del canvi climàtic i la pressió antròpica sobre territoris semiàrids contribueixen a incrementar les fonts de contaminants minerals susceptibles de ser transportats pels vents lluny dels punts d'origen. A més de la pols procedent del desert, els moviments atmosfèrics a gran escala poden transportar contaminants sòlids i gasosos generats a àrees urbanitzades o resultants de la crema de grans biomasses, així com biogenètics de procedència diversa i menar-los en llargues trajectòries fins a regions més o menys allunyades, havent de travessar fins i tot mars, oceans i grans espais continentals abans d'arribar als territoris on acaben el seu recorregut

(Buchanan, Beverland i Heal, 2002; Murano *et al.*, 2000; Gangoiiti *et al.*, 2001; Prospero *et al.*, 2005; Kellogg i Griffin, 2006). Juntament amb tots aquests contaminants i microorganismes, patògens o no, els vents i desplaçaments de masses atmosfèriques a gran escala poden dur a llocs remots pesticides i herbicides que impregnen les partícules dels sòls carregats de productes tòxics, fenomen que representa una amenaça addicional per a la salut (Griffin, Kellogg i Shinn, 2001; McCarthy, 2001). Els efectes nocius de les partícules de pols procedents d'àrees àrides ha estat motiu d'atenció en diferents treballs, però el seu possible impacte sobre la mortalitat i la salut encara és motiu de discussió (Brunekreef i Forsberg, 2005). Un estudi recent realitzat amb dades de Barcelona ha demostrat l'existència d'una relació entre partícules de pols no fines procedent del Sàhara i la mortalitat. Els autors de l'estudi defensen que aquesta relació no és aplicable a les partícules generades a la ciutat, sinó que tant sols a les de procedència sahariana (Pérez *et al.*, 2008). Les causes específiques de mortalitat podrien raure en els efectes provocats no només per les partícules minerals de la pols sahariana, sinó en altres dels ingredients transportats conjuntament en el si de les masses d'aire, potser endotoxines, ja que els microorganismes inclosos entre els productes transportats necessitarien un cert temps per provocar una infecció amb resultat de mort, mentre que els impactes en la mortalitat reconeguts per l'esmentat treball es produeixen a molt curt termini (Sandstorm i Forsberg, 2008).

21.6.4. Necessitat d'un seguiment de la contaminació

Els efectes negatius de la contaminació atmosfèrica en la salut dels habitants de Barcelona han estat analitzats en no pocs treballs (Castellsagué *et al.*, 1995; Sunyer *et al.*, 1996; Sunyer *et al.*, 1997; García-Aymerich *et al.*, 2000; Sáez *et al.*, 2001; Sunyer *et al.*, 2000). Menys atenció ha merescut l'estudi dels efectes de les condicions atmosfèriques en la contaminació. Tanmateix, la permanència de contaminants sobre la ciutat fins assolir taxes agressives per a la salut depèn essencialment de l'estat del temps i, en primer lloc, de l'estabilitat atmosfèrica. Amb el canvi climàtic, és possible que les situacions sinòptiques i els

tipus de temps estable, en consonància amb la disminució de les precipitacions que diferents escenaris i particularment l'A2 preveuen per a la major part de Catalunya, sobretot per al sector costaner, sovintegin al país més que actualment, per la qual cosa, és probable que siguin més freqüents les condicions atmosfèriques favorables a la permanència de tot tipus de contaminants. És molt probable que la generació de contaminants sobre Barcelona i altres poblacions de Catalunya es vagi reduint progressivament, com ha succeït els darrers decennis, però serà molt difícil o impensable que es disminueixin els procedents del Sàhara. Per aquest motiu, serà absolutament necessari aconseguir que la generació de contaminants al país es redueixi al mínim. Mentrestant, seria molt convenient fer un seguiment acurat de les concentracions diàries de tots els contaminants que puguin representar un risc per a la salut a les poblacions més importants i també a altres punts degudament escollits, i esbrinar les causes reals dels seus impactes en l'organisme humà.

21.7. Conclusions

La influència del temps atmosfèric i el clima en la conservació de l'estat de benestar i salut de la població ha estat motiu de preocupació secular plasmat en multitud d'escrits, l'aparició dels més antics es remunta a temps d'Hipòcrates, és a dir a uns dos mil·lennis i mig enrere. Fins temps recents, l'interès primordial d'aquests escrits es polaritzava en destacar la incidència de les condicions atmosfèriques i mediambientals en l'aparició i transmissió de les malalties contagioses, origen essencial dels processos patològics amb resultat de mort fins que, arran dels progressos assolits per les ciències mèdiques, tant en el coneixement com en el tractament eficaç dels malalts, en menys dels dos darrers segles, les anomenades *malalties de la modernitat*, com disfuncions cardiovasculars i respiratòries, càncer i diabetis, esdevinguessin les principals causes de mort per motius no traumàtics, almenys en els països més desenvolupats. Els impactes que les condicions atmosfèriques extremes poden representar en el desencadenament i exacerbació d'aquestes malalties, sobretot de les cardiovasculars i respiratòries, resten fora de tot dubte i

han adquirit un protagonisme destacat entre les preocupacions actuals davant les conseqüències que es derivaran dels previsibles canvis climàtics que ja han començat a manifestar-se. Els efectes del canvi climàtic en la transmissió de les malalties infeccioses continuaran mereixent el màxim interès, malgrat l'excés de confiança i les il·lusions despertades arran de la introducció de les vacunes, quimioteràpies i antibiòtics, doncs continuen representant la principal causa de mort als països tropicals i subtropicals en vies de desenvolupament i, fins i tot, un risc encara important a altres latituds i territoris dotats d'abundants recursos i no menyspreable de possible emergència o reemergència de malalties infeccioses actualment absents.

Per més que sigui difícil predir l'abast dels efectes del canvi climàtic per a la salut de la població de Catalunya, sembla altament probable que els riscos més preocupants seran els derivats del progressiu escalfament mediambiental, però, sobretot, de l'increment dels episodis de calor extrema. Per minimitzar els efectes de la calor, caldria dotar de més mitjans l'actual sistema d'alerta i avís davant la proximitat o imminència d'onades de calor. Es tractaria simplement d'optimitzar uns recursos ja existents. Tanmateix, no cal oblidar que, malgrat l'escalfament, continuaran produint-se, potser amb menys freqüència, onades de fred, mereixedores també d'arbitrar mesures d'avís i protecció a les persones que constitueixen els esmentats grups de risc. A més, l'increment de les temperatures podria exacerbar la formació de determinats contaminants, sobretot als principals nuclis urbans, on es manté un intens trànsit rodat, consumidor de productes fòssils i generador de gasos amb efecte d'hivernacle, alguns simplement, que no és poc, causants del canvi climàtic i altres, endemés, nocius per a la salut, com el monòxid de carboni, els òxids de nitrogen i l'ozó, que caldrà controlar i arbitrar mesures de protecció per a la població en general.

Contràriament als perills derivats de l'assoliment de concentracions excessives d'ozó a la troposfera, el debilitament de l'ozó estratosfèric pot afectar la salut. Afortunadament, els compromisos internacionals acordats i acceptats internacionalment permeten mirar al futur amb una ac-

ceptable tranquil·litat. A més, Catalunya es troba fora de les latituds on les taxes de radiació ultraviolada han experimentat els darrers decennis un creixement més apreciable. Això no obstant, caldria informar dels perills que representa una exposició perllongada a la radiació solar a les hores centrals dels dies d'estiu i avisar amb regularitat, pels diferents mitjans de difusió social, aquells dies que es prevegi l'assoliment de taxes altes de radiació ultraviolada.

El pol·len constitueix un al·lergogen d'origen natural, la generació del qual és sensible a les condicions atmosfèriques. El canvi climàtic pot determinar la quantitat de pol·len i el temps de generació per part de les plantes, i àdhuc l'expansió de determinades espècies vegetals a territoris on prèviament eren desconegudes, com ja han destacats estudis realitzats a diferents països europeus. El pol·len provoca freqüents episodis d'asma i al·lèrgia a persones sensibles a aquest contaminant biogenètic i podria ser l'origen d'un increment d'aquestes afeccions entre els habitants de Catalunya. També els contaminants minerals de generació bàsicament natural, com és la pols procedent del Sàhara, podrien causar al·lèrgies i diferents problemes respiratoris, que és molt possible que s'incrementin amb el canvi climàtic i la intensificació de l'aridesa tropical i subtropical.

Els impactes previsibles que el canvi climàtic pugui provocar en la transmissió de malalties infeccioses a altres territoris, no representen riscos preocupants per als habitants de Catalunya. Les condicions sanitàries i mitjans amb què compta el país redueixen la probabilitat que això succeeixi a un mínim. Hipotèticament, l'augment de les temperatures i, d'altra banda, la proliferació dels moviments de població d'uns territoris endèmics per determinades malalties infeccioses a uns altres constitueixen indubtables factors favorables a una emergència o reemergència d'aquests mals, com podria ser el paludisme present a Europa fins, aproximadament, mig segle enrere. Però el control que ja existeix sobre les malalties infeccioses ofereixen de moment prou garantia. Els al·ludits casos d'infecció per virus Chikungunya detectats els darrers anys foren degudament controlats i aturada la seva transmissió, malgrat la presència del mosquit capaç

d'actuar com a vector de la malaltia. No seria prudent descartar tot tipus de brot o episodis infecciosos com el justament provocat per aquest virus i detectat al nord-est d'Itàlia en 2007, el qual afectà 200 persones, però no sembla necessari de moment arbitrar cap mesura especial, fora d'extremar el control de les persones i animals malalts o possibles reservoris de gèrmens patògens. En tot cas, és necessari mantenir un control estricte de l'aigua destinada al consum humà i també al reg i altres usos, fins i tot a les poblacions més petites, ja que l'aigua pot transmetre determinats gèrmens com el del còlera, que possiblement resultarà més actiu amb l'increment de les temperatures. Un possible descens de les precipitacions a Catalunya podria comprometre la garantia de la qualitat de les aigües disponibles, raó per la qual caldria evitar situacions extremes que qüestionin la total garantia del subministrament de suficient aigua, com succeí l'any 2008, i que el canvi climàtic podria agreujar.

Finalment, malgrat la possible disminució de les precipitacions, no cal descartar l'esdeveniment ocasional de precipitacions excepcionals, origen de riades devastadores i de no pocs accidents, sobretot entre les persones ocupants d'automòbils o altres mitjans de transport. La previsió a llarg i fins i tot curt termini representa una tasca força difícil o irrealitzable, però cal tenir en compte que molts dels danys ocasionats als béns econòmics, així com els riscos per a la salut, són conseqüència de l'ocupació totalment irresponsable d'arenys i lleres, la qual s'hauria de sotmetre a un estricte control, encara que el canvi climàtic no representés, com representa, un risc real.

Referències

- ACKERMAN-LIEBRICH, U.; RAPP, R. (1999). «Epidemiological effects of oxides of nitrogen, especially NO₂», A: HOLGATE, S.T. [et al.] (eds.). *Air pollution and health*. San Diego, Londres: Academic Press, p. 561-584.
- ADAMI, J. [et al.] (1995). «Evidence of an association between non-Hodgkin's lymphoma and skin cancer». *British Medical Journal*, vol. 310, p. 1491-1495.
- ALLEN, M.R. [et al.] (2009). «Warning caused by accumulative carbon emissions towards the trillionth tonne». *Nature*, vol. 458, p. 1163-66.
- ANALITIS, A. [et al.] (2007). «Effects of cold weather on mortality: results from 15 european cities within the PHEWE project». *American Journal of Epidemiology*, vol. 168(12), p. 1397-1408.
- AANDERSON, B.G.; BELL, M.L. (2009). «Weather-related mortality i the United States». *Epidemiology*, vol. 20(2), p. 205-213.
- ANYAMBA, A. [et al.] (2006). «Developing global climate anomalies suggest potencial disease risks for 2006-2007». *International Journal of Health Geographics*, vol. 5(60), DOI 10.1186/1476-072X-5-60.
- ASERO, R. (2002). «Birch and ragweed pollinosis north of Milan: a model to investigate the effects of exposure to «new» airborne allergens». *Allergy*, vol. 57, p. 1063-1066.
- BACCINI, M. [et al.] (2008). «Heat effects on mortality in 15 european cities». *Epidemiology*, vol. 19(5), p. 711-719.
- BALLESTER, F. (1996). «Meteorología y salud. La relación entre la temperatura ambiental y la mortalidad». *Revista Española de Salud Pública*, vol. 70, p. 251-259.
- (2008). «El impacto del calor extremo en la salud: nuevos retos para la epidemiología y la salud pública». *Revista Española de Salud Pública*, vol. 82, p. 147-151.
- BARCLAY, E. (2008). «Is climate change affecting dengue in the Americas?». *Lancet*, vol. 371, p. 973-974.
- BARGAGLI, A. [et al.] (2007). «Summer 2007 heat waves in Roma: results of the Prevention Programme based on General Practitioner Surveillance». *Epidemiology*, vol. 19(6 Suppl.).
- BARNETT, A.G. (2007). «Temperature and cardiovascular deaths in the US elderly: changes over time». *Epidemiology*, vol. 18(3), p. 369-372.
- BASU, R. (2009). «High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008». *Environmental Health*, vol. 8(40), p. 1-13.
- BASU, R.; SAMET, J.M. (2002). «Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiological evidence». *Epidemiol Rev*, vol. 24, p. 190-202.
- BASU, R.; FENG, W.Y.; OSTRO, B. D. (2008). «Characterizing temperature and mortality in nine California counties». *Epidemiology*, vol. 19(1), p. 138-145.
- BECKER, S.; WENG, S. (1998). «Seasonal patterns of deaths in Matlab, Bangladesh». *International Epidemiological Association*, vol. 27, p. 814-823.

- BEGGS, P. (2005). «Admission to hospital for sunburn and drug phototoxic and photoallergic responses: New South Wales». *NSW Public Health Bulletin*, vol. 16(9-10), p. 147-150.
- BELL, M.L. [et al.] (2008). «Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in Sao Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico». *International Journal of Epidemiology*, vol. 37, p. 796-804.
- (2009). «Adverse health effects of particulate air pollution modification by air conditioning». *Epidemiology*, vol. 20(5), p. 682-682.
- BELL, M.L.; DOMICINI, F.; SAMER, J.M. (2005). «A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study». *Epidemiology*, vol. 16(4), p. 436-445.
- BELLAMY, R. (2000). «Evidence of gene-environment interaction in development of tuberculosis». *Lancet*, vol. 355(9204), p. 588-589.
- BENTHAM, G. (1996). «Association between incidence of non-Hodgkin's lymphoma and solar ultra radiation in England and Wales». *British Medical Journal*, vol. 312, p. 1128-1131.
- BERNARD, S.M.; MCGEEHIN, M.A. (2004). «Municipal heat wave response plans». *American Journal of Public Health*, vol. 94(9), p. 1520-1521.
- BERRNG-FORD, L. [et al.] (2009). «Climate change and malaria in Canada: a systems approach». *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, DOI 10.1155/2009/385487, p. 1-13.
- BHASKARAN, K. [et al.] (2009). «Effects of ambient temperature on the incidence of myocardial infarction». *Heart*, vol. 95, p. 1760-1769.
- BORRELL, C. [et al.] (2006). «Socioeconomic position and excess during the heat wave of 2003 in Barcelona». *European Journal of Epidemiology*, vol. 21, p. 633-640.
- BOUMA, M.J. (2003). «Climate change and tropical disease». *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 97, p. 133-139.
- BRAGA, A.L.F.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. (2002). «The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U. S. cities». *Environmental Health Perspectives*, vol. 110(9), p. 859-863.
- BROWSTEIN, J.S.; HOLFORD, T.R.; FISH, D. (2005). «Effect of climate change on Lyme disease risk in North America». *EcoHealth*, vol. 2, p. 38-46.
- BRUNEKREEF, B.; FORSBERG, B. (2005). «Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health». *European Respiratory Journal*, vol. 26, p. 309-318.
- BUCHANAN, C.M.; BEVERLAND, I. J.; HEAL, M.R. (2002). «The influence of weather-type and long-range transport on airborne particle concentrations in Edinburgh, UK». *Atmospheric Environment*, vol. 36, p. 5343-5354.
- BUNYAVANICH, S. [et al.] (2003). «The impact of climate change on child health». *Ambulatory Pediatrics*, vol. 3(1), p. 44-52.
- BURKE, K.E.; WEI, H. (2009). «Synergistic damage by UVA radiation and pollutants». *Toxicology and Industrial Health*, vol. 25, p. 219-224.
- CALBÓ, J. [et al.] (2009). «Projeccions climàtiques per a Catalunya», A: PRAT, N.; MANZANO, A. (eds.). *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Agència Catalana de l'Aigua, p. 91-99.
- CAMPBELL-LENDRUM, D.H.; CORVALAN, C.F.; PRÜSS-USTÜM, A. (2003). «How much disease could climate change cause?», A: McMICHAEL, A. J. [et al.] (eds.). *Climate Change and Human Health. Risks and Responses*. Ginebra: World Health Organization, p. 135-158.
- CAMPBELL-LENDRUM, D.H. [et al.] (2009). «Health and climate change: a roadmap for applied research». *The Lancet*, vol. 373, p. 1663-1665.
- (2002). «Monitoring the health impacts of global climate change», A: MARTENS, P.; McMICHAEL, A.J. (eds.). *Environmental change, climate and health. Issues and research methods*; Cambridge: Cambridge University Press, p. 253-289.
- CARSON, C. [et al.] (2006). «Declining vulnerability to temperature-related mortality in London over the 20th century». *American Journal of Epidemiology*, vol. 164(1), p. 77-84.
- CASIMIRO, E. [et al.] (2006). «National assessment of human health effects of climate change in Portugal: approach and key findings». *Environmental Health Perspectives*, vol. 114(12), p. 1950-1956.
- CASMAN, E. [et al.] (2001). «Climate change and cryptosporidiosis: a qualitative analysis». *Climatic Change*, vol. 50, p. 219-249.
- CASTELLSAGUÉ, J. [et al.] (1995). «Short-term association between air pollution and emergency room visits for asthma in Barcelona». *Thorax*, vol. 50, p. 1051-1056.
- CHAN, M. (2009). «Cutting carbon, improving health». *The Lancet*, vol. 374, p. 1870-1871.

- CHANGNON, S.A.; KUNKEL, K.E.; REINKE, B.C. (1996). «Impacts and responses to the 1995 heat wave: a call to action». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 77(7), p. 1497-1506.
- CHARREL, R.N.; DE LAMBALLERIE, X.; RAOULT, D. (2007). «Chikungunya outbreaks. The globalization of vectorborne diseases». *New England Journal of Medicine*, vol. 8, p. 769-771.
- CHAU, P.H.; CHAN, K.C.; WOO, J. (2009). «Hot weather warning might help to reduce elderly mortality in Hong Kong». *International Journal of Biometeorology*, vol. 53, p. 461-468.
- CHECKLEY, W. [et al.] (2000). «Effects of El Niño and ambient temperature on hospital admissions for diarrhoeal diseases in Peruvian children». *Lancet*, vol. 355(9202), p. 442-450.
- COCKBURN, S.; SALINGER, J. (2001). «Does climate affect mortality in Auckland?» *Water & Atmosphere*, vol. 9(3), p. 26-27.
- COLWELL, R.R. (1996). «Global climate and infectious disease. The cholera paradigm». *Science*, vol. 274 (5295), p. 2025-2031.
- CONFALONIERI, U. [et al.] (2007). «Human Health», A: PARRY, M.L. et al. (eds.). *Climate Changer 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, p. 391-431.
- CONTI, S. [et al.] (2005). «Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy». *Environment Research*, vol. 98, p. 390-399.
- COSTELLO, A. [et al.] (2009). «Managing the health effects of climate change». *The Lancet*, vol. 373(16).
- CURRIERO, F.C. [et al.] (2002). «Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern United States». *American Journal of Epidemiology*, vol. 155(1), p. 80-87.
- DAL, H.; BOLDEMAN, C.; LINDELÖF, B. (2007). «Does relative melanoma distribution by body site 1960-2004 reflect changes in intermittent exposure and intentional tanning in the Swedish population?» *European Journal of Dermatology*, vol. 17(5), p. 428-443.
- DAVIS, R.E. [et al.] (2004). «Seasonality of climate-human mortality relationships in US cities and impacts of climate change». *Climate Research*, vol. 26, p. 61-76.
- DE FABO, E.C. [et al.] (2004). «Ultraviolet B but not ultraviolet A radiation initiates melanoma». *Cancer Research*, vol. 64, p. 6372-6376.
- DERBYSHIRE, S.W. (2006). «Climate change and health». *Lancet*, vol. 367, p. 1976.
- DESSAI, S. (2002). «Heat stress and mortality in Lisbon Part I. model construction and validation». *International Journal of Biometeorology*, vol. 47, p. 6-12.
- DÍAZ, H.F.; MCCABE, G.J. (1998). «A possible connection between the 1878 yellow fever epidemic in the southern United States and the 1877-78 El Niño episode». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 80(1), p. 21-27.
- DÍAZ, J.; LINARES, C.; GARCÍA-HERRERA, R. (2005). «Impacto de las temperaturas extremas en la salud pública: futuras actuaciones». *Revista Española de Salud Pública*, vol. 79, p. 145-147.
- DIBO, M.R. [et al.] (2008). «Study of the relationship between, *Aedes (Segomyia) aegypti* egg and adult densities, dengue fever and climate in Mirassol, state of Sao Paulo, Brazil». *Memorias Instituto Oswaldo Cruz*, vol. 103(6), p. 554-560.
- DIFFENBAUGH, N.S. [et al.] (2007). «Indicators of 21st century socioclimatic exposure». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104(51), p. 20195-20198.
- DIFFEY, B. (2004). «Climate change, ozone depletion and the impact on ultraviolet exposure of human skin». *Physics in Medicine and Biology*, vol. 49, p. R1, R11.
- DIXON, P.G. [et al.] (2005). «Heat mortality versus cold mortality». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 86 (July), p. 937-943.
- (2007). «Effects of temperature variation on suicide in five U. S. counties, 1991-2001». *International Journal of Biometeorology*, vol. 5, p. 395-403.
- DOMICI, F.M.; SAMET, J.M.; ZEGER, S.L. (2000). «Combining evidence on air pollution and daily mortality from the largest US cities: a hierarchical modeling strategy». *Journal of Royal Statistical Society*, vol. 163(Part 3), p. 263-302.
- DOMINICI, F. [et al.] (2006). «Hospital admissions and fine particulate air pollution». *JAMA*, vol. 296(16), p. 1966-1967.
- DONALDSON, G.C. [et al.] (1998). «Winter mortality and cold stress in Yekaterinburg, Russia: interview survey». *British Medical Journal*, vol. 316, p. 514-518.
- DONALDSON, G.C.; KEATINGE, W.R. (2003). «Cold related mortality in England and Wales; influence of social class in working and retired age groups». 2003, vol. 57, p. 790-791.

- D'SOUZA, R.M.; HALL, G.; BECKER, N.G. (2008). «Climatic factors associated with hospitalizations for rotavirus diarrhoea in children under 5 years of age». *Epidemiol. Infect.*, vol. 136, p. 54-64.
- EBI, K.L. (2007). «Towards an early warning system for heat events». *Journal of Risk research*, vol. 10(5), p. 729-744.
- (2005). «Improving public health responses to extreme weather events», A: KIRCH, W.; MENNE, B.; BERTOLLINI, R. (eds.). *Extreme weather events and public health responses*; Dresden: Springer, p. 45-56.
- EBI, K.L. [et al.] (2005). «Climate suitability for stable malaria transmission in Zimbabwe un different climate change scenarios». *Climatic Change*, vol. 73, p. 375-393.
- (2004). «Heat watch/warning systems save lives. Estimated costs and benefits for Philadelphia 1995-98». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 3, p. 1067-1073.
- EBI, K.L.; MEARS, L.O.; NYENZI, B. (2003). «Weather and climate: changing human exposures», A: McMICHAEL, A.J. [et al.] (eds.). *Climate Change and Human Health. Risks and Responses*. Ginebra: World Health Organization, p. 18-42.
- EBI, K.L.; SCHMIER, J.K. (2005). «A stitch in time: improving public health early warning systems for extreme weather events». *Epidemiologic Reviews*, vol. 27, p. 115-121.
- EHRMANN, D. [et al.] (2004). «Seasonal congestive heart failure mortality and hospitalisation trends, Quebec 1990-1998». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 58, p. 129-130.
- EKSTRÖM, K. [et al.] (2005). «Ultraviolet radiation exposure and risk of malignant lymphomas». *Journal of the National Cancer Institute*, vol. 97(3), p. 199-209.
- EMBERLIN, J. [et al.] (2002). «Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons of recent changes in spring temperatures across Europe». *International Journal of Biometeorology*, vol. 46, p. 159-170.
- EM-DAT (2009). *OFDA/CRED International Disaster Database* <http://www.em-dat.net>
- ENSERINK, M. (2007). «Chikungunya: no longer a third world disease». *Science*, vol. 318, p. 1860-1861.
- EPSTEIN, P.R. (1999). «Climate and Health». *Science*, vol. 285(5426), p. 347-348.
- ERGÖNÜL, Ö. (2006). «Crimean-Congo hemorrhagic fever». *Lancet Infectious Diseases*, vol. 6, p. 203-214.
- ESTRADA, A. [et al.] (2007). «Modelling the spatial distribution of Crimea-Congo hemorrhagic fever outbreaks in Turkey». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, vol. 7(4), p. 667-677.
- EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT (2007). *Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes*. <<http://eca.knmi.nl/documents/ETCCDMIIndices-Comparison.pdf>>
- EUROWINTER GROUP (1997). «Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe». *The Lancet*, vol. 349, p. 1341-1346.
- FILLEUL, L. [et al.] (2006). «The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003». *Environmental Health Perspectives*, vol. 114(9), p. 1344-1347.
- FISMAN, D.N. (2007). «Seasonality of infectious diseases». *Annual Review of Public Health*, vol. 28, p. 127-143.
- FLEURY, M. [et al.] (2006). «A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces». *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, p. 385-391.
- FORASTIERE, F. (2009). «Climate change and health: a challenge for epidemiology and public health». *International Journal of Public Health*, DOI 10.1007/S00038-009-0096-9.
- FOUILLET, A. [et al.] (2008). «Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the summer 2003? A study of the 2006 heat wave». *International Journal of Epidemiology*, vol. 37, p. 309-317.
- FRANKE, C.R. [et al.] (2002). «Impact of the El Niño/Southern Oscillation on visceral leishmaniasis, Brasil». *Emerging Infectious Diseases*, vol. 8(9), p. 914-917.
- FRANKENBERG, E.; MCKEE, D.; THOMAS, D. (2005). «Health consequences of forest fires in Indonesia». *Demography*, vol. 42(1), p. 109-129.
- FREI, T.; GRASSNER, E. (2008). «Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969-2006». *International Journal of Biometeorology*, vol. 52, p. 667-674.
- FRIEL, S. [et al.] (2009). «Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture». *Lancet*, vol. 374, p. 2016-2024.

- FUENTES, V.; TENÍAS, J.M.; BALLESTER, F. (2007). «Environmental factors affecting children's respiratory health in the first year of life: a review of the scientific literature». *European Journals of Pediatrics*, vol. 167, p. 1103-1109.
- GAGNON, A.S.; BUSH, A.B.G.; SMOYER-TOMIC, E. (2001). «Dengue epidemics and the El Niño Southern Oscillation». *Climate Research*, vol. 19, p. 35-43.
- GALLAGHER, R.P.; LEE, T.K. (2006). «Adverse effects of ultraviolet radiation: a brief review». *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, vol. 92, p. 119-131.
- GALLEGOS-HERNÁNDEZ, J.F. (2008). «Melanoma cutáneo. La importancia de la fotoprotección y del diagnóstico oportuno». *Cirugía y Cirujanos*, vol. 76(5), p. 363-366.
- GANGOITTI, G. [et al.] (2001). «Long-range transport and re-circulation of pollutants in the western Mediterranean during the project Regional Cycles of Air Pollution in the West-Central Mediterranean». *Atmospheric Environment*, vol. 35, p. 6267-6276.
- GARCÍA-AYMERICH, J. [et al.] (2000). «Air pollution and mortality in cohort of patients with chronic obstructive pulmonary disease: a time series analysis». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 54, p. 73-74.
- GARCÍA-HERRERA, R. [et al.] (2005). «Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions». *Annales Geophysicae*, vol. 23, p. 239-251.
- GEMMELL, I. [et al.] (2000). «Seasonal variation in mortality in Scotland». *International Journal of Epidemiology*, vol. 29, p. 274-279.
- GERBER, Y. [et al.] (2006a). «Seasonality and daily weather conditions in relation to myocardial infarction and sudden cardiac death in Olmsted county, Minnesota, 1979 to 2002». *Journal of American College of Cardiology*, vol. 48, p. 287-292.
- (2006b). «Secular trends in deaths from cardiovascular diseases: a 25-year community study». *Circulation*, vol. 113, p. 2285-2292.
- GILL, M.; STOTT, R. (2009). «Health professionals must act to tackle climate change». *The Lancet*, vol. 374, p. 1953-1955.
- GITHEKO, A.K. [et al.] (2000). «Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis». *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 78(9), p. 1136-1147.
- GITHEKO, A.K.; NDEGWA, W. (2001). «Predicting malaria epidemics in the Kenia highlands using climate data: a tool for decision makers». *Global Change & Human Health*, vol. 2(1), p. 54-63.
- GITHEKO, A.K.; WOODWARD, A. (2003). «International consensus on the science of climate and health: the IPCC Third assessment Report», A: McMICHAEL, A.J. [et al.] (eds.). *Climate Change and Human Health. Risks and Responses*. Ginebra: World Health Organization, p. 43-60.
- GOERRE, S. [et al.] (2007). «Impact of weather and climate on the incidence of acute coronary syndromes». *International Journal of Cardiology*, vol. 118, p. 36-40.
- GOKLANY, I.M. (2009a). «Is the climate change the 'Defining challenger' of our age?». *Energy and Environment*, vol. 20(3), p. 279-302.
- (2009b). «Climate change is not the biggest global health threat». *Lancet*, vol. 375, p. 973-974.
- GONZÁLEZ, J.M. (2005). «Melanoma maligno de piel en España: el riesgo en los territorios atlánticos y mediterráneos. Una aproximación desde la geografía de la salud». *Revista de Geografía*, vol. 4, p. 49-74.
- GONZÁLEZ, S. et al. (2001). «Relationship between atmospheric pressure and mortality in the Madrid Autonomous Region: a time-series study». *International Journal of Biometeorology*, vol. 45, p. 34-40.
- GOODMAN, P.G.; DOCKERY, D.W.; CLANCY, L. (2004). «Cause-specific mortality and the extended effects of particulate pollution and temperature exposure». *Environmental Health Perspectives*, vol. 112(2), p. 179-185.
- GRASS, D.; CANE, M. (2008). «The effects of weather and air pollution on cardiovascular and respiratory mortality in Santiago, Chile, during the winters of 1988-1996». *International Journal of Climatology*, vol. 28, p. 1113-1126.
- GRAY, J.S. [et al.] (2009). «Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe». *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, DOI 10.1155/2009/593232, p. 1-12.
- GREENOUGH, G. [et al.] (2001). «The potential impacts of climate variability and change on health impacts of extreme weather events in the United States». *Environmental Health Perspectives*, vol. 109 (suppl. 2), p. 191-198.
- GREER, A.; NG, V.; FISMAN, D. (2008). «Climate change and infectious diseases in North America: the road ahead». *Canadian Medical Association Journal*, vol. 178(6), p. 715-722.

- GRIFFIN, D.W.; KELLOGG, C.A.; SHINN, E.A. (2001). «Dust in the wind: long range transport of dust in the atmosphere and its implications for global public ecosystem health». *Global Change & Human Health*, vol. 2(1), p. 20-33.
- GRUIJL, F.R. (2000). «Health effects from the sun's ultraviolet radiation and ozone as a stratospheric sunscreen». *Global Change and Health*, vol. 1(1), p. 26-40.
- GRUIJL, F.R.; VAN DER LEUN, J.C. (2000). «Environment and health: 3. Ozone depletion and ultraviolet radiation». *Canadian Medical Association Journal*, vol. 163(7), p. 851-855.
- GUBLER, D.J. [et al.] (2001). «Climate variability and change in the United States potential impacts vector and rodent-borne disease». *Environmental Health Perspectives*, vol. 109(supl. 2), p. 223-233.
- (1998). «Dengue and dengue hemorrhagic fever». *Clinical Microbiology Reviews*, vol. 11(3), p. 480-496.
- GUERRA, C.A. [et al.] (2007). «Assembling a global database of malaria parasite prevalence for the malaria atlas project». *Malaria Journal*, vol. 6(17), DOI 10.1186/1475-2875-6-17.
- GUEST, C.S. [et al.] (1999). «Climate and mortality in Australia: retrospective study. 1979-1990, and predicted impacts in five major cities in 2030». *Climate Research*, vol. 13, p. 1-15.
- HA, J.; YOON, J.; KIM, H. (2009). «Relationship between winter temperature and mortality in Seoul, South Korea, from 1994 to 2006». *Science of the Total Environment*, p. 2158-2164.
- HAILEMARIAM, K. (1999). «Impact of climate change on the water resources of Awash River Basin, Ethiopia». *Climate Research*, vol. 12, p. 91-96.
- HAINES, A. [et al.] (2009). «Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: overview and implications for policy makers». *The Lancet*, vol. 374, p. 3104-2114.
- HAINES, A.; McMICAL, A.J. (1999). *Climate change and human health*. Londres: The Royal Society, 96 p.
- HAINES, A.; PATZ, J.A. (2004). «Health effects of climate change». *JAMA*, vol. 291(1), p. 99-103.
- HAJAT, S.; BIRD, W.; HAINES, A. (2004). «Cold weather and GP consultations for respiratory conditions by elderly people in 16 locations in the UK». *European Journal of Epidemiology*, vol. 19, p. 959-968.
- HAJAT, S.; KOVATS, R.S.; LACHOWYCY, K. (2007). «Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk?» *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 64, p. 93-100.
- HAJAT, T.S.; O'CONOR, M.; KOSATKY, T. (2010). «Health effects of hot weather: from awareness of risk factors to effective health protection». *The Lancet*, vol. 375, p. 856-862.
- HALES, S. [et al.] (2002). «Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model». *The Lancet*, vol. 360(9336), p. 830-834.
- [et al.] (1999). «El Niño and the dynamics of vectorborne disease transmission». *Environmental Health Perspectives*, vol. 107(2), p. 99-102.
- HALES, S.; EDWARDS, S.J.; KOVATS, R.S. (2000). «Impacts on health of climate extremes», A: McMICAL, A.J. [et al.] (eds.). *Climate change and human health*; Ginebra: World Health Organization, p. 79-102.
- HALES, S.; VAN PANHIUS, W. (2005). «A new strategy for dengue control». *Lancet*, vol. 365, p. 551-552.
- HAY, S.I.; SMITH, D.L.; SNOW, R.W. (2008). «Measuring malaria endemicity intense to interrupted transmission». *Lancet Infectious Diseases*, vol. 8, p. 369-377.
- HEALTHY, J.D. (2003). «Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 57, p. 784-789.
- HOLICK, M.F. (1994). «McCollum award lecture, 1994: vitamin D-New horizons for the 21st century». *The American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 60(4), p. 619.
- HORTON, R. (2009). «The climate dividend». *Lancet*, vol. 374, p. 1819-70.
- HU, S. [et al.] (2004). «Ultraviolet radiation and incidence of non-Hodgkin's lymphoma among hispanics in the United States». *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*, vol. 13, p. 59-64.
- HUQ, A.; COLWELL, R.R. (1996). «Environmental factors associated with emergence of disease with special reference to cholera». *Eastern Mediterranean Health Journal*, vol. 2(1), p. 37-45.
- HUTCHINSON, R.A.; LINDSAY, S. (2006). «Malaria and deaths in the english marshes». *The Lancet*, vol. 367, p. 1947-1951.
- IBALD-MULLI, A. [et al.] (2004). «Effects of particulate air pollution on blood pressure and heart rate in subjects with cardiovascular disease: a multicenter approach». *Environmental Health Perspectives*, vol. 112(3), p. 369-377.

- IPCC (2007). «The physical science basis. Contribution to working group to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change», A: SOLOMON, S. [et al.] (eds.). *Cambridge University Press*.
- JACKSON, R.; NAUMOFF, K. (2008). «Preparing the U. S. health community for climate change». *Annual Review of Public Health*, vol. 29, p. 57-73.
- JAUREGUI, E.; CERVANTES, J.; TEJADA, A. (1997). «Bioclimatic conditions in Mexico City- an assessment». *International Journal of Biometeorology*, vol. 40, p. 166-177.
- JOHNSON, D.P.; WILSON, J.S.; LUBER, G.C. (2009). «Socioeconomic indicators of heat-related health risk supplemented with remotely sensed data». *International Journal of Health Geographics*, vol. 8(57), DOI 10.1186/1476-072X-8-57.
- JONES, K.E. [et al.] (2008). «Global trends in emerging infectious diseases». *Nature*, vol. 451(21), p. 990-994.
- JUNK, J.; HELBIG, A.; LÜERS, J. (2003). «Urban climate and air quality in Trier Germany». *International Journal of Biometeorology*, vol. 47, p. 230-238.
- KALKSTEIN, L.S. (1993). «Health and climate change. Direct impacts in cities». *The Lancet*, vol. 342, p. 1397-1399.
- KALKSTEIN, L.S. [et al.] (1996). «The Philadelphia hot weather-health watch/warning system: development and application, summer 1995». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 77(7), p. 1519-1528.
- (2008). «Analog european heat waves for U. S. cities to analyze impacts on heat-related mortality». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 89(1), p. 75-85.
- KALKSTEIN, L.S.; GREENE, J.S. (1997). «An evaluation of climate/mortality relationships in large U. S. cities and the possible impacts of a climate change». *Environmental Health Perspectives*, vol. 105(1), p. 84-93.
- KALKSTEIN, L.S.; SHERIDAN, S.C. (2006). «A bioclimatological analysis of heat and human health: progress in heat match-warning system technology», A: GARCIA, J.C. [et al.] (eds.). *El clima entre el mar y la montaña. (Conferencias invitadas al IV Congreso de la AEC)*. Santander: Asociación Española de Climatología, p. 9-28.
- KALKSTEIN, L.S.; SHERIDAN, S.C.; AU, Y.C. (2008). «A new generation of health warning systems for Seoul and other major korean cities». *Meteorological Technology and Policy*, vol. 1, p. 62-68.
- KALKSTEIN, L.S.; VALIMONT, K.M. (1986). «An evaluation of Summer Discomfort in the United States Using a Relative Climatological Index». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 67, p. 842-848.
- KALKSTEIN, L.S.; SHERIDAN, S.C.; KALKSTEIN, A.J. (2009). «Heat/health warning systems: development, implementation, and intervention activities», A: EBI, K.L.; BURTON, I.; MCGREGOR, G.R. (eds.). *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*. New York: Springer-Verlag, p. 33-47.
- KARL, T.R.; KNIGHT, R.W. (1997). «The 1995 Chicago heat wave: how likely is a recurrence?». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78(6), p. 1107-1119.
- KASSOMENOS, P. [et al.] (2001). «Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece». *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, p. 591-596.
- KATSOUYANNI, K. [et al.] (1988). «The 1987 Athens Heatwave». *Lancet*, vol. 332(8610), p. 573.
- KEATINGE, W. R. [et al.] (2000). «Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study». *British Medical Journal*, vol. 321, p. 670-673.
- KEATINGE, W. R.; DONALDSON, G.C. (2001). «Mortality related to cold and air pollution in London after allowance for effects of associated weather patterns». *Environment Research*, vol. 86, p. 209-216.
- (2004). «Winter mortality in elderly people in Britain:». *British Medical Journal*, vol. 329, p. 976.
- KELLER, A.A. [et al.] (1997). «Effects of ultraviolet-B enhancement on marine trophic levels in a stratified coastal system». *Marine Biology*, vol. 130, p. 277-287.
- KELLOGG, C.A.; GRIFFIN, D.W. (2006). «Aerobiology and the global transport of desert dust». *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 21(11), p. 638-644.
- KINNEY, P.L. [et al.] (2008). «Approaches of estimating effects of climate change on heat related deaths: challenges and opportunities». *Environmental Science & Policy*, vol. 11, p. 87-96.
- KIRCH, W.; MENNE, B.; BERTOLLINI, R., [eds.] (2005). *Extreme weather events and public health responses*. Dresden, Springer. XLV+303 p.
- KJELLSTROM, T. [et al.] (2010). «Public health impact of global heating due to climate change: potential effects on chronic non-communicable disease». *International Journal of Public Health*, vol. 55, p. 97 -103.

- KLONER, R.A.; POOLE, K. I PERRITT, R.L. (1999). «When Throughout the Year Is Coronary Death Most Likely to Occur?». *Circulation*, vol. 100, p. 1630-1634.
- KNOWLTON, K. [et al.] (2009). «THE 2006 California heat wave: impacts on hospitalization and emergency department visits». *Environmental Health Perspectives*, vol. 117,(1), p. 61-67.
- KO, A.I. [et al.] (1999). «Urban epidemic of severe leptospirosis in Brazil». *The Lancet*, vol. 354(9181), p. 820-825.
- KOELLE, K. [et al.] (2005). «Refractory periods and climate forcing in cholera dynamics». *Nature*, vol. 436(4 ag.), p. 696-700.
- KOPPE, C.; JENDRITZKY, G. (2005). «Inclusion of short-term adaptation to thermal stresses in a heat load warning procedure». *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 14(2), p. 271-278.
- KOUBENGERG, J.H.M. [et al.] (1999). «Biological weighting of ultraviolet (280-400 nm) induced mortality in marine zooplankton and fish. II. *Calanus finmarchicus* (Copepoda) eggs». *Marine Biology*, vol. 134, p. 285-293.
- KOVATS, R.S. [et al.] (2003). «El Niño and health». *The Lancet*, vol. 362, p. 1481-1489.
- (2001). «Early effects of climate change: do they include changes in vector-borne disease?». *Philosophical Transactions*, vol. 356, p. 1057-1068.
- KOVATS, R.S.; BOUMA, M. (2002). «Retrospective studies: analogue approaches to describing climate variability and health», A: MARTENS, P.; MCMICHAEL, A. J. (eds.). *Environmental Change Climate and Health*; Cambridge: Cambridge Univ. Press, p. 144-171.
- KOVATS, R.S.; JENDRITZKY, G. (2006). «Heat-waves and human health», A: MENNE, B.; EBI, K. L. (eds.). *Climate change and adaptation strategies for human health*. Darmstadt: Springer, p. 63-97.
- KOVATS, R.S.; KOPPE, C. (2005). «Heat waves: past and future impacts on health», A: EBI, K. L.; SMITH, J. B.; BURTON, I. (Eds.). *Integration of Public Health with Adaptation to Climate Change*; Leiden: Taylor & Francis, p. 136-160.
- KOVATS, S.; EBI K.L. (2006). «Heatwaves and public health in Europe». *European Journal of Public Health*, vol. 16(6), p. 592-599.
- KOVATS, S.; EBI, K.L.; MENNE, B. (2003). *Methods of assessing human health adaptation to climate change*. Copenhagen: World Health Organization, 111 p.
- KUHN, K.G. [et al.] (2003). «Malaria in Britain: past, present, and future». *PNAS*, vol. 100(17), p. 9997-10001.
- KUMAR, S. (1998). «India's heatwave and rains result in massive death toll». *The Lancet*, vol. 351, p. 1869-1869.
- KUNKEL, K.E. [et al.] (1996). «The July 1995 heat wave in the Midwest: a climatic perspective and critical weather factors». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 77(7), p. 1507-1518.
- KUNST, A.E.; LOOMAN, C.W.N.; MACKENBACH, J.P. (1993). «Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: a time-series analysis». *American Journal of Epidemiology*, vol. 137, p. 331-341.
- KYSÉLY, J.; HUTH, R. (2008). «Relationships of surface air temperature anomalies over Europe to persistence of atmospheric circulation patterns conducive to heat waves». *Advances in Geosciences*, vol. 14, p. 243-249.
- (2009). «Relationships between summer air masses and mortality in Seoul: Comparison of weather-type classifications». *J. Physics Chemistry Earth*. DOI 10.1016/j.pce.2009.11.001.
- LAFFERTY, K.D. (2009). «The ecology of climate change and infectious diseases». *Ecology*, vol. 90(4), p. 888-900.
- LAÍN EANTRALGO, P. (1990). *Historia de la Medicina*. Barcelona: Salvat.
- LANGFORD, I.H.; BANTHAM, G. (1995). «The potential effects of climate change on winter mortality in England and Wales». *International Journal of Biometeorology*, vol. 38(3), p. 141-147.
- LEE, J.H. [et al.] (2009). «Influence of weather on daily hospital admissions for acute myocardial infarction (from the Korea Acute Myocardial Infarction Registry)». *International Journal of Cardiology*. DOI 10.1016/j.ijcard.2009.03.122.
- LEITTER, U.; GARBE, C. (2008). «Epidemiology of melanoma and non melanoma skin cancer. The role of sunlight», A: REICHRATH, J. (ed). *Sunlight, Vitamin D and Skin Cancer*; Berlin: Springer, p. 89-103.
- LENS, M.B.; NEWTON-BISHOP, J.A. (2005). «An association between cutaneous melanoma and non-Hodgkin's lymphoma: pooled of published data with a review». *Annals of Oncology*, vol. 16, p. 460-465.
- LERCHL, A. (1998). «Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature». *International Journal of Biometeorology*, vol. 42, p. 84-88.

- LIM, V. [et al.] (2009). «Politicians must heed health effects of climate change». *The Lancet*, vol. 374, p. 973.
- LINARES, C.; DÍAZ, J. (2007). «Impact of high temperatures on hospital admissions comparative analysis with previous studies about mortality (Madrid)». *European Journal of Public Health*, vol. 18(3), p. 317-322.
- LINDGREN, E.; GUSTAFSON, R. (2001). «Tick-borne encephalitis in Sweden and climate change». *The Lancet*, vol. 358(9275), p. 16-18.
- LINDSAY, S.; JOYCE, A. (2000). «Climate change and the disappearance of malaria from England». *Global Change & Human Health*, vol. 1(2), p. 184-187.
- LINDSAY, S.W. [et al.] (2000). «Effect of 1997-98 El Niño on highland malaria in Tanzania». *The Lancet*, vol. 355(9208), p. 989-990.
- LINDSAY, S.W.; THOMAS, C. J. (2001). «Global warming and risk of vivax malaria in Great Britain». *Global Change & Human Health*, vol. 2(1), p. 80-84.
- LINDAQUIST, L.; VAPALAHTI, O. (2008). «Tick-borne encephalitis». *The Lancet*, vol. 371(1861-1871).
- LIPPERT, F. W. (2005). «Air pollution and poverty: does the sword cut both ways?». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 58(2-3), p. 11-17.
- LIPP, E.K.; HUQ, A.; COLWELL, R.R. (2002). «Effects of global climate on infectious disease the cholera model». *Clinical Microbiology Reviews*, vol. 15(4), p. 757-770.
- LOEVINSHOM, M.E. (1994). «Climatic warming and increased malaria incidence in Rwanda». *The Lancet*, vol. 343(8899), p. 714-718.
- LONGSTRETH J. [et al.] (1998). «Health risks». *Journal of Photochemistry and Photobiology*, vol. 46, p. 20-39.
- LÓPEZ-VÉLEZ, R.; MOLINA, R. (2005). «Cambio climático en España y riesgo de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por artrópodos y roedores». *Revista Española de Salud Pública*, vol. 79(2), p. 177-190.
- LOZANO, A.; FILIPE, A.R. (1998). «Anticuerpos a virus West Nile y otros flavivirus transmitidos por artrópodos en la población del Delta del Ebro». *Revista Española de Salud Pública*, vol. 72, p. 245-250.
- LUCAS, R.M.; MCMICHAEL, A.J. (2005). «Stratospheric ozone depletion: successful responses to a global environmental insult», A: EBI, K.L.; SMITH, J.B.; BURTON, I. (eds.). *Integration of Public Health with Adaptation to Climate Change*. Leiden: Taylor & Francis, p. 215-241.
- MACKENZIE, W.R. [et al.] (1994). «A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply». *New England Journal of Medicine*, vol. 331, p. 161-167.
- MACNEE, W.; DONALDSON, K. (1999). «Particulate air pollution: injurious and protective mechanisms in the lungs», A: HOLGTE, S.T. [et al.] (eds.). *Air pollution and health*. San Diego, Londres, p. 655-672.
- MADAN, V.; LEAR, J.; SZIMIES, R.M. (2010). «Non-melanoma skin cancer». *The Lancet*, vol. 375, p. 673-685.
- MALTEZOU, H.C. [et al.] (2010). «Crimea-Congo hemorrhagic fever in Europe: current situation call for preparedness». *Euro Surveillance*, vol. 15(10), pii=19504.
- MARKANDYA, A. [et al.] (2009). «Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: low-carbon electricity generation». *The Lancet*, vol. 374, p. 2006-2014.
- MARMOT, M. (2005). «Social determinants of health inequalities». *The Lancet*, vol. 365(19), p. 1099-2005.
- MARTENS, P. (1998). *Health and Climate Change*. Londres: Earthscan, 176 p.
- MARTENS, P. [et al.] (1999). «Climate change and future populations at risk of malaria». *Global and Environmental Change*, vol. 9, p. S89-S107.
- MARTÍNEZ-NAVARRO, F.; SIMÓN-SORIA, F.; LÓPEZ ABENTE, G. (2004). «Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad». *Gaceta Sanitaria*, vol. 18(supl 1), p. 250-258.
- MARTÍN-SÁNCHEZ, J. [et al.] (2009). «Canine leishmaniasis in southeastern Spain». *Emerging Infectious Diseases*, vol. 15(5), p. 795-798.
- MASSIMO, J.A.; LANTERI, A.D.; DÍEZ PÉREZ, D. (2009). «El sol y la piel». *Noticias Metropolitanas*, p. 2-4.
- MASTRANGELO, G. [et al.] (2007). «Pattern and determinants of hospitalization during heat waves: an ecologic study». *BMC Public Health*, vol. 7.
- MCCARTHY, M. (2001). «Dust clouds implicated in spread of infection». *The Lancet*, vol. 358, p. 478.
- MCGREGOR, G.R. (2004). «Relationships between the seasonality of temperature and ischemic heart disease mortality: implications for climate based health forecasting». *Climate Research*, vol. 25, p. 253-263.
- MCMICHAEL, A.J. [et al.] (2009). «Climate change: a time of need and opportunity for the health sector». *The Lancet*, vol. 374, p. 2123-2125.

- (2007). «Food, livestock production, energy, climate change, and health». *The Lancet*, vol. 370(6), p. 1253-1263.
- (2003b). «Stratospheric ozone depletion, ultraviolet radiation and health», A: McMICHAEL, A. J. *et al.* (eds.). *Climate Change and Human Health. Risks and Responses*; Ginebra: World Health Organization, p. 159-180.
- (2008). «International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project». *International Journal of Epidemiology*, vol. 37, p. 1121-1131.
- McMICHAEL, A.J. [et al.] (eds.) (1996). *Climate Change and Human Health*. Geneva: World Health Organization. 297 p.
- McMICHAEL, A.J.; GILES, G.G. (1996). «Have increases in solar ultraviolet exposure contributed to the risk in incidence of non-Hodgkin's lymphoma». *British Journal of Cancer*, vol. 73, p. 945-950.
- McMICHAEL, A.J.; NEIRA, M.; HEYMANN, D.L. (2008a). «World Health Assembly 2008: climate change and health». *The Lancet*, vol. 371, p. 1895-1896.
- McMICHAEL, A.J.; WOODRUFF, R.E.; HALES, S. (2006a). «Climate change and human health: present and future risks». *The Lancet*, vol. 367(9513), p. 859-869.
- (2006b). «Climate change and health. Authors' reply». *The Lancet*, vol. 367, p. 1976.
- MEDINA-RAMÓN, M. [et al.] (2006). «Extreme temperatures and mortality: assessing effect modification by personal characteristics and specific cause of death in a multi-city case-only analysis». *Environmental Health Perspectives*, vol. 114, p. 1331-1336.
- MEDINA-RAMÓN, M.; SCHWARTZ, J. (2007). «Temperature, temperature extremes, and mortality: a study of acclimatization and effect modification in 50 US cities». *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 64, p. 827-833.
- MEINSHAUSEN, M. [et al.] (2009). «Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 °C». *Nature*, vol. 458, p. 11581162.
- MERREL, D.S. [et al.] (2002). «Host-induced epidemic spread of the cholera bacterium». *Nature*, vol. 417, p. 642-645.
- MICHELOZZI, P. [et al.] (2009). «High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities». *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 179, p. 383-389.
- (2007). «Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE project background, objectives, design». *Environmental Health*, vol. 6(12), p. doi: 10.1186/1476-069X-6-12.
- (2005). «Heat waves in Italy: cause specific mortality and the role of educational level and socioeconomic conditions», A: KIRCH, W.; MENNE, B.; BERTOLLINI, R. (eds.). *Extreme weather events and public health responses*; Dresden: Springer, p. 121-127.
- MILLY, P.C.D. [et al.] (2002b). «Increasing risk of great floods in a changing climate». *Nature*, vol. 415, p. 524-517.
- MIRON, I.J. [et al.] (2008). «Time trends in minimum mortality temperatures in Castile-La Mancha (Central Spain). 1975-2003». *International Journal of Biometeorology*, vol. 52, p. 291-299.
- MITCHELL, R. (2001). «Short days-shorter lives: studying winter mortality to get solutions». *International Journal of Epidemiology*, vol. 30, p. 1116-1118.
- MKANDA, F. (1999). «Drought as an analogue climate change scenario for prediction of potential impacts on Malawi's wildlife habitats». *Climate Research*, vol. 12, p. 215-222.
- MOLLER, P. [et al.] (2002). «Sunlight-induced DNA damage in human mononuclear cells». *FASEB Journal*, vol. 16, p. 45-53.
- MORILLAS-MÁRQUEZ, F. [et al.] (2010). «Climate change and infectious diseases in Europe: leishmaniasis and its vectors in Spain». *The Lancet*, vol. Lancet Infectious Diseases(10), p. 216-217.
- MURANO, K. [et al.] (2000). «Trans-boundary air pollution over remote islands in Japan: observed data and estimates from a numerical model». *Atmospheric Environment*, vol. 34, p. 5139-5149.
- NEWTON, R. (1997). «Solar ultraviolet radiation is not a major cause of primary cutaneous non-Hodgkin's lymphoma». *British Medical Journal*, vol. 314, p. 1483-1484.
- NOGUERA, P.; PAIXAO, E. (2008). «Models for mortality associated with heatwaves: update of the Portuguese heat health warning system». *International Journal of Climatology*, vol. 28, p. 545-562.
- NOGUEIRA, P.J. (2005). «Examples of heat health warning systems: Lisbon's surveillance system, summer of 2003», A: KIRCH, W.; MENNE, B.; BERTOLLINI, R. (eds.). *Extreme weather events and public health responses*. Dresden: Springer, p. 141-159.

- NOJI, E. K. (1994). «Progress in disaster management». *The Lancet*, vol. 343, p. 1239-1240.
- NORVAL, M. [et al.] (2007). «The effects on human health from stratospheric ozone depletion and its interactions with climate change». *Photochem. Photobiol. sci.*, vol. 6, p. 232-251.
- O'NEILL, M.S. [et al.] (2005). «Impact of control for air pollution and respiratory epidemics on the estimated associations of temperature and daily mortality». *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, p. 121-129.
- O'NEILL, M.S.; ZANOBBETTI, A.; SCHWARTZ, J. (2003). «Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities». *American Journal of Epidemiology*, vol. 157(12), p. 1074-1082.
- PAJARES, M.S. [et al.] (1997). «Mortalidad diaria en la comunidad de Madrid (1986-1991) para el grupo de 45 a 64 años: su relación con la temperatura del aire». *Revista Española de Salud Pública*, vol. 71(2), p. 149-160.
- PALMER, T.N.; RÄISÄNEN, J. (2002). «Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate». *Nature*, vol. 415, p. 512-514.
- PALUTIKOF, J.P. [et al.] (2002). «Generating rainfall and temperature scenarios at multiple sites: examples from Mediterranean». *Journal of Climate*, vol. 15(24), p. 3529-3548.
- PAN, W.-H. LI, L.-A.; TSAI, M.-J. (1995). «Temperature extremes and mortality from coronary heart disease and cerebral infarction in elderly Chinese». *The Lancet*, vol. 345(8946), p. 353-355.
- PASCAL, M. (2008). «Predicting endemic cholera: the role of climate variability and disease dynamics». *Climate Research*, vol. 36, p. 131-140.
- [et al.] (2006). «France's heat health watch warning system». *International Journal of Biometeorology*, vol. 50, p. 144-153.
- (2000). «Cholera dynamics and El Niño-Southern Oscillation». *Science*, vol. 289, p. 1766-1769.
- PATTENDEN, S.; NIKIFOROV, B.; ARMSTRONG, B. G. (2003). «Mortality and temperature in Sofia and London». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 57, p. 628-633.
- PATZ, J.A. [et al.] (2003). «Climate change and infectious disease», A: McMICHAEL, A.J. [et al.] [eds.]. *Climate Change and Human Health. Risks and Responses*. Ginebra: World Health Organization, p. 103-132.
- (2000). «Effects of environmental change on emerging parasitic disease». *International Journal of Parasitology*, p. 1-20.
- PENGELLY, L.D. [et al.] (2007). «Anatomy of heat waves and mortality in Toronto». *Revue Canadienne de Santé Publique*, vol. 98(5), p. 364-368.
- PÉREZ, L. et al. (2008). «Coarse particles from Saharan dust and daily mortality». *Epidemiology*, vol. 19, p. 800-807.
- PETROESCHESCHEVSKY, A. [et al.] (2001). «Associations between outdoor air pollution and hospital admissions in Brisbane, Australia». *Archives of Environmental Health*, vol. 56(1), p. 37-52.
- PHINO, O.S.; MANSO, M.D. (2000). «The urban heat island in a small city in coastal Portugal». *International Journal of Biometeorology*, vol. 44, p. 198-203.
- PIELKE, R.; WIGLEY, T.; GREEN, C. (2008). «Dangerous assumptions». *Nature*, vol. 452(3), p. 531-532.
- POVEDA, G. [et al.] (2001). «Coupling between annual and ENSO timescales malaria-climate association in Colombia». *Environmental Health Perspectives*, vol. 109(5), p. 489-493.
- PROSPERO, J.M. [et al.] (2005). «Interhemispheric transport of viable fungi and bacteria from Africa to the Caribbean with soil dust». *Aerobiologia*, vol. 21, p. 1-19.
- RANDDOLPH, S. (2001). «Tick-borne encephalitis in Europe». *The Lancet*, vol. 358, p. 1731-1732.
- RANDOLPH, S.E. (2004). «Evidence that climate change has caused 'emergence' of tick-borne disease in Europe?». *International Journal of Medical Microbiology*, vol. 293(sup 37), p. 5-15.
- (2010). «To what extent has climate change contributed to recent epidemiology of tick-borne diseases?». *Veterinary Parasitology*, vol. 167(2010), p. 92-94.
- REID, C.E. [et al.] (2009). «Mapping community determinants of heat vulnerability». *Environmental Health Perspectives*, vol. 117(11), p. 1730-1736.
- REITER, P. (2001). «Climate change and mosquito-borne disease». *Environmental Health Perspectives*, vol. 109(sup. 1), p. 141-161.
- REN, C. [et al.] (2008). «Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the MNMAPS data». *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 65, p. 255-260.
- REN, C.; WILLIAMS, G. M.; TONG, S. (2006). «Does particulate matter modify the association between temperature and cardiorespiratory diseases?». *Environ-*

- mental Health Perspectives*, vol. 114(11), p. 1690-1696.
- REZZA, G. [et al.] (2007). «Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region». *The Lancet*, vol. 370, p. 1840-1846.
- RIGAU-PÉREZ, J.G. [et al.] (1998). «Dengue and dengue hemorrhagic fever». *The Lancet*, vol. 352, p. 971-977.
- ROBERTS, L.; ENSERINK, M. (2007). «Did they really say ... eradication?». *Science*, vol. 318, p. 1544-1545.
- ROBINE, J.M. [et al.] (2008). «Death toll exceeded 70.000 in Europe during the summer of 2003». *Comptes Rendus Biologies*, vol. 331, p. 171-178.
- RODÓ, X. [et al.] (2002). «ENSO and cholera: a non-stationary link related to climate change?». *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 99(20), p. 12901-12906.
- ROGERS, D.J.; RANDOLPH, S.E. (2000). «The global spread of malaria in future, warmer world». *Science*, vol. 289, p. 1763-1766.
- ROGERS, C. [et al.] (2006). «Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO₂ on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production». *Environmental Health Perspectives*, vol. 114, p. 865-869.
- ROIZ, D. [et al.] (2007a). «A survey of mosquitoes breeding in used tires in Spain for the detection of imported potential vector species». *Journal of Vector Ecology*, vol. 32(1), p. 10-15.
- (2007b). «Distribución de *Aedes* (*Stegomyia*) *Albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera, Culicidae) en España». *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, vol. 40, p. 523-526.
- ROONEY, C. [et al.] (1998). «Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 52, p. 482-486.
- ROSA-FREITAS, M.G. [et al.] (2006). «Association between dengue and combinations of weather factors in a city in the Brazilian Amazon». *Pam. Am. J. Public Health*, vol. 20, p. 256-267.
- SÁEZ, M. [et al.] (2000). «Ischaemic heart disease mortality and weather temperature in Barcelona, Spain». *Journal of Public Health*, vol. 10(1), p. 58-63.
- (2001). «Comparing meta-analysis and ecological-longitudinal analysis in time-series studies. A cause study of effects of air pollution on mortality in three Spanish cities». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 55, p. 423-432.
- SAKER, L. [et al.] (2004). *Globalization and infectious diseases: a review of the linkages*. Ginebra: WHO, p. 62.
- SALAZAR-LINDP, E. [et al.] (1997). «El Niño and diarrhoea and dehydration in Lima, Perú». *The Lancet*, vol. 350(29), p. 1597-1598.
- SAMANEK, A. [et al.] (2006). «Estimates of beneficial and harmful sun exposure times during the year for major Australian population centers». *Medical Journal of Australia*, vol. 184(7), p. 338-341.
- SAMET, J.M. (2009). «Adapting to climate change». *Resources for the future*, vol. June, p. 1-38.
- SÁNCHEZ-SECO, M.P. [et al.] (2009). «Diagnóstico microbiológico del virus chikungunya en España (2006-2007). Detección de casos de viajeros». *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, vol. 27(8), p. 457-461.
- SANDSTORM, T.; FORSBERG, B. (2008). «Desert dust. An unrecognized source and dangerous air pollution?». *Epidemiology*, vol. 19(6), p. 808-809.
- SARTOR, F. [et al.] (1995). «Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer, 1994, in Belgium». *Environmental Research*, vol. 70, p. 105-113.
- SCHÄR, C. [et al.] (2004). «The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves». *Nature*, vol. 427(22), p. 332-336.
- SCHIFANO, P. [et al.] (2009). «Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome». *Environmental Health*, vol. 8(50), DOI 10.1186/476-069X-8-50.
- SCHNEIDER, S. (2009). «The worst-case scenario». *Nature*, vol. 458, p. 1104-1105.
- SCHNEIDER, S.; LANE, J. (2006). «An overview of »dangerous« climate change», A: SCHELLNHUBER, H.J. [et al.] (eds.). *Avoiding dangerous climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 7-23.
- SCHWARTZ, J.; LADEN, F.; ZANOBBETTI, A. (2002). «The concentration-response relation between PM_{2.5} and daily deaths». *Environmental Health Perspectives*, vol. 110(10), p. 1025-1029.
- SEMENZA, J.C. (1996). «Deaths in the Chicago Heat Wave». *The New England Journal of Medicine*, vol. 335(24), p. 1848-1849.
- SEMENZA, J.C. [et al.] (1999). «Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago». *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 16(4), p. 269-277.

- (1996). «Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago». *The New England Journal of Medicine*, vol. 335(2), p. 84-90.
- SEMENZA, J.C.; MENNE, B. (2009). «Climate change and infectious diseases in Europe». *Lancet Infectious Disease*, vol. 9, p. 365-375.
- SENIOR, K. (2008). «Vector-borne diseases threaten Europe». *The Lancet*, vol. 8, p. 531-532.
- SHERIDAN, S.C. (2007). «A survey of public perception and response to heat warnings across four North American cities: an evaluation of municipal effectiveness». *International Journal of Biometeorology*, vol. 52, p. 3-15.
- SHERIDAN, S.C.; KALKSTEIN, L.S. (2004). «Progress in heat watch-warning system technology». *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 85(12), p. 1931-1941.
- SHINDELL, D.T.; RIND, D.; LONENGAM, P. (1998). «Increased polar stratospheric ozone losses and delayed eventual recovery owing to increasing greenhouse gas concentrations». *Nature*, vol. 292(6676), p. 589-592.
- SHOPE, R. (1991). «Global climate change and infectious diseases». *Environmental Health Perspectives*, vol. 96, p. 171-174.
- SHUMAN, E.K. (2010). «Global climate change and infectious diseases». *New England Journal of Medicine*, vol. 362(12), p. 1061-1063.
- SIMÓN, F. [et al.] (2005). «Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003». *Eurosurveillance*, vol. 10, p. 156-160.
- SMITH, K.R. [et al.] (2009a). «Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants». *The Lancet*, vol. 374, p. 2091-2103.
- SMITH, M. [et al.] (2009b). «Influence of the North Atlantic Oscillation on grass pollen counts in Europe». *Aerobiologia* DOI 10.1007/S10453-009-9136-4.
- SMOYER, K.E. [et al.] (2000). «The impacts of weather and pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania». *International Journal of Climatology*, vol. 20, p. 881-897.
- STAFOGGIA, M. [et al.] (2009). «Summer temperature-related mortality effect modification by previous mortality». *Epidemiology*, vol. 20(4), p. 575-583.
- (2006). «Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis». *Epidemiology*, vol. 17(3), p. 315-323.
- STEERE, A.C.; COBURN, J.; GLICKSTEIN, L. (2004). «The emergence of Lyme disease». *The Journal of Clinical Investigation*, vol. 113(8), p. 1093-1101.
- SUNYER, J. (2008). «Commentary: evaluating response to heat waves». *International Journal of Epidemiology*, vol. 37, p. 317-318.
- SUNYER, J. [et al.] (2000). «Patients with chronic obstructive pulmonary disease are at increased risk of death associated with urban particle air pollution: a case-crossover analysis». *American Journal of Epidemiology*, vol. 151(1), p. 50-56.
- (1997). «Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA Project». *Thorax*, vol. 52, p. 760-765.
- (1996). «Air pollution and mortality in Barcelona». *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 50 (Suppl. 1), p. 1-5.
- SUNYER, J.; GRIMALT, J. (2006). «Global climate change, widening health inequalities, and epidemiology». *International Journal of Epidemiology*, vol. 35, p. 213-216.
- TABACHNICK, W.J. (2009). «Challenges in predicting climate and environmental effects on vector-borne disease epistemes in a changing world». *The Journal of Experimental Biology*, vol. 213, p. 946-954.
- TAN, J. [et al.] (2010). «The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai». *International Journal of Biometeorology*, vol. 54, p. 75-84.
- (2007). «Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003». *International Journal of Biometeorology*, vol. 51, p. 193-200.
- (2004). «An operational heat/health warning system in Shanghai». *International Journal of Biometeorology*, vol. 48, p. 157-162.
- TANNER, M.; DE SAVICHY, D. (2008). «Malaria eradication back on the table». *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 86(2), p. 82-83.
- TARAMARCAZ, P. [et al.] (2005). «Ragweed (Ambrosia) progression and its health Switzerland resist invasion?» *Swiss Medical Weekly*, vol. 135, p. 538-548.
- TAUBES, G. (1997). «Global warming: Apocalypse not». *Science*, vol. 278(5340), p. 1004-1006.
- TERAMURA, A.H.; SULLIVAN, J.H.; ZISKA, L.H. (1990). «Interaction of elevated ultraviolet-B radiation and CO₂ on productivity and photosynthetic characteristics in wheat, rice and soybean». *Plant Physiology*, vol. 94, p. 470-475.

- THOMAS, P. (2004a). *Under the Weather*; Londres: Fusion, 257 p.
- THOMSON, M.C. [et al.] (2006). «Malaria early warning based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles». *Nature*, vol. 439(2), p. 576-579.
- (2000). «Forecasting disease risk with seasonal climate predictions». *The Lancet*, vol. 355(9214), p. 1550-1560.
- THURSTON, G.D.; ITO, K. (1999). «Epidemiological studies of ozone exposure effects», A: Holgate, S.T. [et al.] (eds.). *Air pollution and health*; San Diego, Londres: Academic Press, p. 485-510.
- TOBIAS, A. [et al.] (2010). «Short-term effects of extreme hot summer temperatures on total daily mortality in Barcelona, Spain». *International Journal of Biometeorology*, vol. 54, p. 115-117.
- TONBAK, S. [et al.] (2006). «Crimea-Congo hemorrhagic fever virus: genetic analysis and tick survey in Turkey». *Journal of Clinical Microbiology*, vol. 44(11), p. 4120-4124.
- UDEENFELDTWORT, U. [et al.] (2004). «Impact of El Niño and malaria on birthweight in two areas of Tanzania with different transmission patterns». *International Journal of Epidemiology*, vol. 33(6), p. 1311-1319.
- VANECKOVA, P. [et al.] (2008b). «Synoptic analysis of heat-related mortality in Sydney, Australia, 1993-2001». *International Journal of Biometeorology*, vol. 52, p. 439-451.
- VINEIS, P. (2009). «Climate change and the diversity of its health effects». *International Journal of Public Health*. DOI 10.1007/S00038-009-0092-0.
- WEIR, E. (2001). «Sunlight exposure and non-Hodgkin's lymphoma». *Canadian Medical Association Journal*, vol. 165(3), p. 331.
- WETHERALD, R.T.; MANABE, S. (1995). «The Mechanisms of Summer Dryness Induced By Greenhouse Warming». *Journal of Climate*, vol. 8(2), p. 3096-3108.
- WHITMAN, S. [et al.] (1997). «Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave». *American Journal of Public Health*, vol. 87(9), p. 1515-1518.
- WILKINSON, P. [et al.] (2004). «Vulnerability to winter mortality in elderly people in Britain: population based study». *British Medical Journal*, vol. 329, p. 647-653.
- (2009). «Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: household energy». *The Lancet*, vol. 374, p. 1917-1929.
- WOLF, K. [et al.] (2009). «Air temperature and the occurrence of myocardial infarction in Augsburg, Germany». *Circulation*, vol. 9, p. 735-742.
- WOODCOK, J. [et al.] (2009). «Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions urban land transport». *The Lancet*, vol. 374, p. 1930-1943.
- WOODHOUSE, P.R. [et al.] (1994). «Seasonal variation of plasma fibrinogen and factor VII activity in the elderly: winter infections and death from cardiovascular disease». *The Lancet*, vol. 343(8895), p. 435-439.
- XUN, W.W. [et al.] (2010). «Climate change epidemiology: methodological challenges». *International Journal of Public Health*, vol. 55, p. 85-96.
- YIP, F.Y. [et al.] (2008). «The impact of excess heat events in Maricopa County, Arizona: 2000-2005». *International Journal of Biometeorology*, vol. 52, p. 765-772.
- ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. (2008). «Temperature and mortality in nine US cities». *Epidemiology*, vol. 19(4), p. 563-570.
- ZAULI, S. [et al.] (2008). «Bioclimatic characterisation of an urban area: a case study in Bologna (Italy)». *International Journal of Biometeorology*, vol. 52, p. 779-785.
- ZAVITSANOU, A.; BABATSIKOU, F.; KOUTIS, C. (2009). «Crimean Congo hemorrhagic fever: an emerging tick-borne disease». *Health Science Journal*, vol. 3(1), p. 10-18.
- ZELL, R. (2004). «Global climate change and the emergence/re-emergence of infectious disease». *International Journal of Medical microbiology (suppl)*, vol. 293, p. 16-26.
- ZISKA, L.H.; EPSTEIN, P.R.; ROGERS, C. A. (2008). «Climate change, aerobiology, and public health in the Northeast United States». *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 13, p. 607-613.

22. Percepció i comunicació del canvi climàtic a Catalunya

Joan David Tàbara

Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA)
Universitat Autònoma de Barcelona

Joan David Tàbara treballa amb l'*European Climate Forum* (Potsdam, Alemanya), i és investigador associat a l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la UAB, i membre del *European Sustainability Science Group*. A hores d'ara col·labora amb en els projectes *Integrated Risk Governance* sobre riscos de gran escala que excedeixen les actuals capacitats humanes per ésser abordats; *Global Systems Dynamics and Policies*, sobre ciències de la complexitat per tractar els problemes d'insostenibilitat global, i *VISION*, sobre R+D per a la sostenibilitat. L'any 2009 rebé el Premi a l'excel·lència investigadora de la UAB i el premi de millor ponència presentada a la Conferència sobre desenvolupament sostenible de la Comissió Europea on s'introduïa el concepte de 'Governança Climàtica Integrada'.

Agraeixo als experts i agents consultats la seva desinteressada participació en l'estudi qualitatiu. Agraeixo a Anna Serra el seu suport en l'obtenció de les dades addicionals sobre l'evolució de la premsa escrita a Catalunya, i a Salvador Samitier i Iñaki Gili, de l'Oficina Catalana de Canvi Climàtic, els seus comentaris al primer esborrany d'aquest treball.

Resum	977
22.1. Introducció	979
22.2. La recerca social de la percepció del canvi climàtic	980
22.3. La percepció del canvi climàtic a la Unió Europea	981
22.4. Les percepcions climàtiques del públic en general a l'Estat espanyol	983
22.5. Algunes dades en el cas de Catalunya	987
22.6. Contingut i metodologia	990
22.6.1. Tendències, impactes i vulnerabilitat	991
22.6.2. Mitigació	994
22.6.3. Adaptació	996
22.6.4. Canvi climàtic i desenvolupament sostenible	997
22.6.5. Ciència, política i societat	998
22.6.6. Distribució de responsabilitats i aspectes ètics	1001
22.7. La comunicació del canvi climàtic a la premsa escrita	1002
22.8. Conclusions	1004
Refèrencies	1007

Resum

Aquest capítol presenta una revisió dels darrers estudis sobre percepció del canvi climàtic en els àmbits internacional, europeu, espanyol i català i, així mateix, aporta una anàlisi original de les percepcions sobre el canvi climàtic entre una mostra de 19 experts i agents actius en aquesta matèria a Catalunya. A la vegada, mostra l'evolució d'un total de 3.090 d'articles de diari publicats a Catalunya sobre canvi climàtic en el període 1990-2007. Entre els resultats i les tendències detectades, podem destacar-ne els següents: 1) en general, fins ara el canvi climàtic s'ha considerat sobretot com un problema de mitigació i no d'adaptació, i més com un risc o un cost que com una oportunitat de desenvolupament o d'inversió; 2) la crisi econòmica ha afectat la manera com el públic en general percep el problema del canvi climàtic; d'una banda banda, reduint-ne la sensació d'urgència, però a la vegada incremen-

tant-ne la percepció com a factor important a l'hora de contribuir a resoldre aquesta mateixa crisi; 3) hi ha hagut un fort creixement de la presència del canvi climàtic en la premsa diàriacatalana, així com un major nombre de marcs interpretatius —alguns en conflicte— que són utilitzats per comunicar aquesta nova realitat, i 4) els experts i els agents consultats a Catalunya en temes de canvi climàtic tenen una posició molt menys optimista que el públic en general sobre les possibilitats de contenir el canvi climàtic, i a la vegada es mostren molt crítics amb els responsables polítics catalans i, en particular, pel que fa a la política de mitigació. En concret, entenen que la societat catalana no genera prou incentius o desincentius per mitigar el canvi climàtic o adaptar-s'hi ni disposa d'institucions ni destina prou recursos a aquests propòsits, tot i que Catalunya disposa d'opcions factibles per fer-ho.

22.1. Introducció

El canvi climàtic ha finalment acabat envaint l'espai de la comunicació i de l'imaginari públic d'una manera que era del tot impensable ara fa tan sols una dècada. Pel·lícules com *L'era de l'estupidesa* o *L'endemà passat* s'han acabat fonent en multitud de propostes, informes i estratègies de tota mena que fan que el canvi climàtic ja no sols hagi deixat de ser una discussió més o menys intel·lectual o científica d'una minoria, sinó que sobretot hagi passat a ser part de la quotidianitat. De fet, tal i com assenyala l'*Oxford American Dictionary*, la paraula de l'any el 2006 fou la de *carbon-neutral*, necessària per qualificar tot allò que pretén neutralitzar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.² Ara un munt d'iniciatives locals, de negocis i internacionals s'orienten ja cap aquest objectiu arreu...³

Així doncs, el canvi climàtic ha deixat de ser solament un fenomen biofísic per acabar convertint-se en una mena de calidoscopi que amplifica múltiples ideologies i interessos i els dona una nova projecció. El canvi climàtic, ara ja serveix, tant per explicar les causes com les conseqüències del destí humà. Tal com afirma Mike Hulme, director fundacional del Tyndall Centre de la Universitat d'East Anglia, a la Gran Bretanya, ara la «idea del clima» s'ha convertit en el recipient on convergeixen múltiples conflictes existents en la societat. En realitat, els desacords i les diverses percepcions que trobem quan parlem del canvi climàtic, sorgeixen no tant perquè parlem de clima com a realitat objectiva o científica, sinó perquè en realitat parlem de moltes altres coses que gràcies al discurs del canvi climàtic prenen una nova dimensió social, moral i política (Hulme, 2009).

Davant d'aquesta realitat emergent, és important desentrellar la complexa textura del que configura les noves maneres d'entendre la nova situació de transformació climàtica. És a dir, ara no ja com un fenomen natural extern a les so-

cietats humanes, sinó sobretot com un nou vector que, finalment, afecta la manera d'organitzar les nostres relacions i institucions socials. No obstant això, i fins fa ben poc, el clima —com la resta de canvis ambientals— ha estat fortament ignorat per les ciències socials, per bé que inevitablement, no com a resultat de la recerca social en si mateixa, els sociòlegs contemporanis més destacats ja no poden deixar de tractar-lo (Giddens, 2009).⁴

En aquesta contribució, apporto les darreres dades disponibles sobre percepció del canvi climàtic a partir d'estudis realitzats en els àmbits internacional, europeu, espanyol i català. Igualment, incloc unes dades addicionals sobre la publicació d'articles de diari a Catalunya sobre canvi climàtic en el període 1990-2007. Però el gruix d'aquest capítol se centra en una anàlisi original de la percepció del clima per part d'experts i agents implicats en aquesta matèria a Catalunya. Per tant, en la mesura possible, he evitat la duplicació de resultats publicats a Catalunya en altres fonts o anteriorment (Tàbara [coord.], 2008; Tàbara, 2005; Tàbara *et al.*, 2005), per la qual cosa remeto els lectors que desitgin una visió més completa d'aquesta temàtica a aquelles fonts.

Aquesta exposició s'inicia, en la secció 2, amb una breu revisió d'estudis sobre percepció i comunicació del canvi climàtic. Aquesta secció té com a objectiu identificar les principals claus interpretatives dels resultats obtinguts en els diversos contextos internacional, europeu, espanyol i català. A continuació, la secció 3 compara les dades disponibles a Europa aportades en els eurobaròmetres específicament dedicats al canvi climàtic dels anys 2008 i 2009, un període especialment important a causa de la crisi econòmica. La secció 4 es concentra en els darrers resultats obtinguts a Espanya fent ús dels eurobaròmetres, dels sondejos del Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS, 2000, 2005, 2007), així com d'un parell d'estudis finançats per dues

2. http://blog.oup.com/2006/11/carbon_neutral/

3. Per a una iniciativa universitària dirigida a assolir la neutralitat climàtica i el paper dels sondejos per assolir-la, vegeu McCauley *et al.*, 2009.

4. En el cas de Giddens, però, es produeix allò tan comú en la comunicació del risc, que sovint el que pren més importància és el missatge que no pas el missatge en si...

fundacions privades. La secció 5 aporta algunes dades referents a Catalunya, a partir de dades recentment facilitades pel DMAH. Tot seguit, la secció 6 presenta l'anàlisi de percepcions d'un grup de 19 experts i d'agents socials actius a Catalunya en aquest camp, ja que s'entén que conèixer les seves opinions pot ser especialment important a l'hora de prendre decisions sobre l'assumpte. La secció 7 detalla les tendències en la publicació de notícies i comentaris sobre canvi climàtic en quatre diaris apareguts a Catalunya durant el període 1990-2007 a partir d'una mostra de 3.090 articles. Finalment, en les conclusions es comenten i resumeixen els resultats principals.

22.2. La recerca social de la percepció del canvi climàtic

En la darrera dècada, hom constata una veritable explosió de recerques socials que aborden el canvi climàtic a partir de preguntes, poblacions i perspectives molt diverses. Entre els quals, un dels estudis més referenciats (i fins i tot utilitzat en la pel·lícula d'Al Gore) és el d'Oreskes (2004), en què es preguntava si existeix un consens científic pel que fa a l'impacte de les activitats humanes sobre el clima. A partir de la revisió de 928 resums de revistes científiques, va trobar que més del 75% hi estava d'acord o acceptava implícitament o explícita aquest supòsit. Aquests resultats coincideixen amb els obtinguts per Doran i Kendall Zimmerman (2009) a través d'un sondeig entre 3.146 científics que treballen en ciències de la terra, en què el 82% de les persones consultades va respondre en la mateixa direcció. Segons aquests darrers autors, aquests resultats reforcen la idea que el principal repte actualment en temes de canvi climàtic ja no radica a arribar a aquest consens científic, sinó a millorar profundament els aspectes de comunicació pública i política.

Pel que fa a l'obtenció de dades internacionals amb caràcter comparatiu, a més de Brenchin (2003) sobresurt el treball de Leiserowitz (2007a), que aporta una revisió d'estudis quantitius sobre percepció climàtica a diversos continents. Així, per exemple, subratlla el fet que als Estats Units, el públic en general està menys convençut que a Europa, l'Índia o la Xina sobre si

les activitats humanes estan afectant el canvi climàtic, diferències que es poden explicar per un seguit de factors socials, emocionals o cognitius diversos, alguns dels quals es comenten a continuació. El mateix Leiserowitz (2006) argumenta que les percepcions climàtiques estan fortament influïdes pels «imaginariis afectius», així com els valors culturals.

En l'àmbit internacional una de les fonts més importants de dades quantitatives sobre percepció del canvi climàtic és l'agència *Globescan*, amb base als Estats Units. Segons un dels seus darrers treballs (Miller, 2010), que conté dades provinents des de l'any 1998 al 2009 en 24 països, es mostra un increment molt pronunciat de les persones que creuen que el canvi climàtic és un problema 'molt seriós', ja que passen del 43% al 62% al llarg d'aquest període. Un dels importants aspectes d'aquesta recerca és que quan el canvi climàtic es considera una oportunitat d'inversió i no pas de costos, les polítiques de canvi climàtic obtenen un major suport, la qual cosa porta aquests investigadors a suggerir que mesures transversals que abordin a la vegada diversos problemes de manera integrada podrien arribar a ser més efectives per tractar aquest problema tan complex.

En particular, la bibliografia sociològica internacional ha identificat un seguit de factors sociodemogràfics i culturals que semblen incidir o estan de manera més directament correlacionats amb les actituds del públic en general respecte del canvi climàtic (Trumbo, 2000). Per exemple, el nivell d'educació tendeix a afectar notablement el mode com es percep el canvi climàtic. Tal com mostren les dades dels eurobaròmetres (EC, 2009, 2008), en general les persones que han gaudit d'un període més llarg d'educació i/o que se senten més informades sobre aquesta problemàtica tendeixen a creure que el canvi climàtic és un problema molt seriós.

Tanmateix, un factor que influeix molt decisivament en la valoració del clima és la posició ideològica dretes/esquerres. Així, segons l'estudi aportat per Dunlap i McCrigh (2008), que recull el contrast d'opinions climàtiques entre l'electorat demòcrata i republicà als Estats Units entre els anys 1997 i 2008, mostra que no solament aquestes diferències de percepcions climà-

tiques entre dretes i esquerres són ben paleses, sinó que a més, aquestes que s'han anat incrementant amb el temps. En concret:

- Quan al públic americà, l'any 1997, li preguntaven si el canvi climàtic suposava una amenaça seriosa a un mateix o al seu propi estil de vida, sols un 20% dels republicans hi estava d'acord, en contrast amb el 31% dels demòcrates. Onze anys després, i tot i que el 2008 els percentatges van augmentar en ambdós grups, en passar al 26% i al 49%, respectivament, la distància entre les posicions d'esquerres i de dretes augmentà.
- En comparar les percepcions entre demòcrates i republicans, quan se'ls preguntava l'any 1997 sobre si el canvi climàtic s'exagera als mitjans de comunicació, un 37% hi estava d'acord, en contrast amb un 27% dels demòcrates. L'any 2008, un 58% dels republicans hi estava d'acord, en contrast amb tan sols un 17% dels demòcrates.
- La majoria dels de dretes tendeixen a argumentar que l'increment de la temperatura en el decurs del darrer segle ve donat principalment per causes naturals —el 70% i el 72% dels republicans, el 2001 i el 2008 respectivament—, en contrast amb els que defensen posicions més d'esquerres —el 53% i el 40%, el 2001 i el 2008, respectivament.
- La majoria dels demòcrates tendeixen a pensar que la majoria dels científics creuen que el canvi climàtic ja s'està produint —el 52% i el 75%, el 1997 i el 2008 respectivament. Aquesta percepció és menys estesa en el cas dels republicans —el 42% i el 52%, el 1997 i el 2008, respectivament.

Hi ha, però, molts altres factors que la recerca social ha identificat com rellevants per explicar i entendre les percepcions climàtiques. Entre els quals, tal com destaquen Kellstedt *et al.* (2008) el nivell d'informació, la confiança dipositada en els científics, el sentiment d'eficàcia personals, la comunicació interpersonal (Stamm *et al.*, 2000), o fins i tot el mateix llenguatge que s'utilitza per descriure aquest fenomen. Així, L. Whitmarsh (2009) trobà que el fet de parlar «d'escalfament de la Terra» provocava un major nivell de pre-

ocupació que parlar de «canvi climàtic» en una mostra qualitativa del sud d'Anglaterra.

22.3. La percepció del canvi climàtic a la Unió Europea

A Europa, la font principal de dades quantitatives sobre percepció del canvi climàtic es troba en els estudis realitzats per la Comissió Europea als eurobaròmetres. Els principals avantatges d'aquests treballs és que utilitzen grans mostres (entorn de 27.000 entrevistes per estudi), es fan periòdicament i seguint la mateixa metodologia, la qual cosa permet que els resultats siguin força comparables tant al llarg del temps com entre els diversos països. Per contra, hom pot pensar que donen resultats relativament superficials i dependents de situacions culturals i conjunturals, com és ara la influència del mateix llenguatge o els mitjans de comunicació. Sigui com sigui, el cert és que constitueixen una font molt valuosa i ineludible d'informació que cal tenir present en l'anàlisi de la construcció social del canvi climàtic i que cal tenir en compte a l'hora de concebre polítiques de canvi climàtic a diferents nivells.

Especialment destacables foren els eurobaròmetres publicats el setembre del 2008 i el juliol del 2009 (EC 2008, 2009).⁵ Fou precisament durant aquest període quan s'inicià la crisi econòmica global. El mode d'avaluar el canvi climàtic no ha estat immune a l'impacte de la crisi, si bé els seus efectes són ambigus. Tot i que ara s'hi dona una menor importància relativa, a la vegada el nombre de persones que ara creuen que lluitar contra el canvi climàtic pot tenir un efecte positiu sobre l'economia s'ha incrementat (passant del 56% el 2008 al 62% el 2009).

En primer lloc, i com un resultat general obtingut als 27 països de la UE, segons aquestes fonts es detecta que el canvi climàtic es percep com un dels tres problemes més seriosos, i no solament de caràcter ambiental, a què s'enfronta el món en conjunt. Aquesta percepció es correspon amb els resultats obtinguts en l'Eurobaròmetre del 2005, en què el canvi climàtic també apareixia com un dels tres problemes que més

5. El treball de camp fou realitzat, respectivament, entre març i maig del 2008 i entre gener i febrer del 2009.

preocupaven els europeus (EC, 2005, p. 8). No obstant això, actualment aquesta percepció sembla haver perdut una part de la seva intensitat com a resultat de la crisi econòmica. Mentre que per la primavera del 2008 el 62% de la població europea havia esmentat el canvi climàtic, aquest percentatge va minvar al 50% al principi del 2009, mentre que el nombre de persones que van esmentar la crisi global va passar del 24% al 52%. Val a dir, però, que el primer problema que s'esmenta a la UE és la «pobresa, manca de menjar i d'aigua potable», que d'una manera indirecta hom podria creure que també està relacionat amb el canvi climàtic (no com a fenomen futur, sinó com un procés ja present a moltes parts de món subdesenvolupat). Pel que fa als grups de població, les persones que menys tendeixen a referir-se al canvi climàtic en general són persones majors de 55 anys, mentre que les persones que més sovint afirmen que el canvi climàtic és el problema més seriós a què s'enfronta el món en el seu conjunt tendeixen a ser estudiants o les persones que han gaudit d'educació fins als 20 anys o més, els que políticament se situen a l'esquerra, i els que tenen professions liberals o de gestió. Amb tot, el canvi climàtic apareix com el segon o tercer problema més important al món *en totes* les categories socioeconòmiques, la qual cosa significa que es tracta d'un problema percebut de manera significativa

pel conjunt de la població europea, en part al marge del sector de població considerat.

Tal com mostra la figura 1, al principi del 2009 més de dues terceres parts de la població europea —el 67%— creia que el canvi climàtic és un problema *molt seriós*. Així doncs, aquest percentatge es mantingué alt, encara que davallà 7 punts respecte de les dades de l'any anterior, en què el resultat era del 74%. En aquest cas, i pel que fa als resultats obtinguts el 2009, la majoria de les persones que consideraven el canvi climàtic un problema molt seriós tendien a ser dones, població entre els 15 i 54 anys, amb estudis fins als 16 anys o més, estudiants, professionals liberals o amb feines de gestió, d'esquerres, i que es consideren informats en aquesta matèria. Per contra, el grup que considera que el canvi climàtic no és un problema seriós, tendeix a ser d'homes, de més de 55 anys, jubilats i d'orientació política de dretes. És interessant, però, constatar que són els homes més que no les dones, els qui amb més probabilitat tendeixen a respondre que el canvi climàtic podria tenir un impacte positiu sobre l'economia.

Segons aquests eurobaròmetres, a Europa el nivell subjectiu d'informació sobre el canvi climàtic —el grau en què les persones es creuen a si mateixes molt o prou informades sobre el cas— és elevat, és a dir, el 56%. Particularment aquelles persones que mostren un alt nivell subjectiu

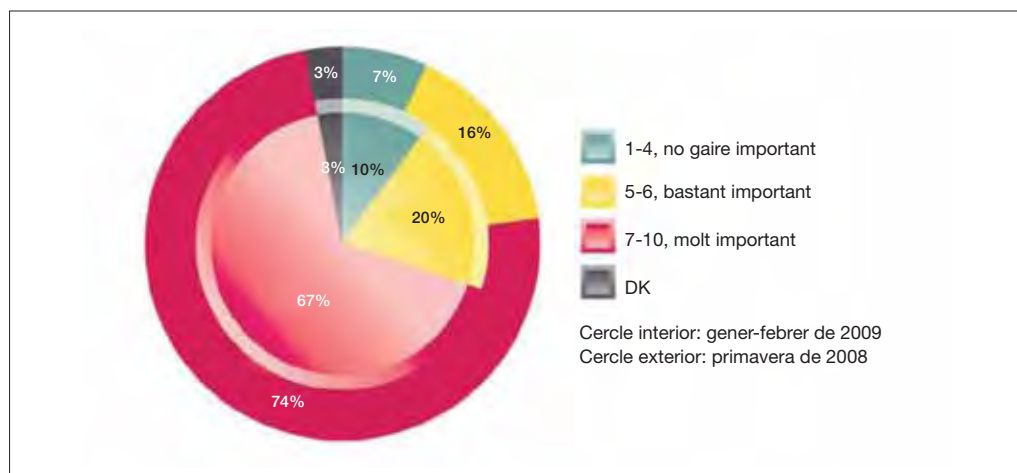


Figura 1. Importància del canvi climàtic a la UE. Dades sobre la pregunta «En quina mesura creieu que el canvi climàtic és un problema seriós en el moment actual?»

d'informació sobre el canvi climàtic, alhora tendeixen a pensar que el canvi climàtic és un problema *molt* seriós. Els sectors de població que es creuen menys informats sobre el canvi climàtic són les persones amb un període d'educació formal més curt, les persones majors de 55 anys, així com les dones.⁶ Val a dir que a Espanya, segons els resultats del CIS del 2007, un 61,4% de la població afirmava haver sentit parlar del Protocol de Kyoto, mentre que un 36,3 deia que era la primera vegada que n'havia sentit a parlar. Aquests resultats coincideixen amb els del BBVA (2008), en què el 61% deia haver sentit parlar de Kyoto, un increment de 10,8 punts respecte del 2005.

És interessant notar una certa correspondència entre el públic dels països que es consideren més preocupats pel canvi climàtic i aquells països on la gent creu que el canvi climàtic es pot resoldre. Així, entre els 27 països de la UE, la població sueca és la que es mostra més preocupada i més optimista alhora de poder resoldre'l. De fet, Suècia és l'únic país de tota la UE que durant el període de crisi 2008-2009 va mostrar un increment en la valoració de gravetat del canvi climàtic com a problema principal del món, mentre que a tota la resta de països europeus aquests percentatges disminuïren (això es podria explicar pel fet que era el país que a la vegada es mostrà menys preocupat per la crisi econòmica global). Tot i això, en general, per a la majoria dels europeus el canvi climàtic no és un fenomen inaturoable (per al 58%), i gairebé dues tercers parts de la població creu (el 65%) que la seva importància no ha estat exagerada, per exemple pels mitjans de comunicació. En general, les persones que creuen que el canvi climàtic és un problema molt seriós també tendeixen a pensar que el canvi climàtic es podrà resoldre. En aquest sentit, els que pensen que és un problema que no es pot aturar tendeixen a ser persones jubilades o desocupades.

Un altre aspecte explorat pels eurobaròmetres són les contribucions personals per mitigar el

canvi climàtic. Aquestes s'examinen mitjançant preguntes directes formulades als enquestats sobre el que consideren haver-hi fet o no. Ara bé, és evident que aquest mètode per mesurar les contribucions personals s'ha d'interpretar amb molta cura, ja que està subjecte al que s'anomena el «biaix ambiental»: respondre de manera políticament correcta el que s'espera que cal respondre per no ésser etiquetat com a persona *non grata* per la resta de la comunitat (fenomen que queda especialment palès quan es pregunten aquestes qüestions en un moment molt avançat del qüestionari). En tot cas, EL 2009 el 59% de la població europea va afirmar haver emprès en algun moment alguna acció en aquest camp, amb una molt lleu disminució del 2% respecte del 2008.

En resum, a Europa aproximadament dues tercers parts de la població europea creu que el canvi climàtic es tracta d'un problema molt seriós i que no ha estat exagerat, per exemple, pels mitjans de comunicació. La crisi econòmica ha tingut també els seus efectes sobre la percepció del canvi climàtic, fenomen que s'ha fet ben palès a partir de les dades dels eurobaròmetres. No obstant això, tot i que els europeus ara assignen una importància relativa al problema del canvi climàtic, menor, per exemple, que respecte de la mateixa crisi econòmica, el nombre de persones que entenen que resoldre el canvi climàtic pot constituir una solució per abordar la crisi també s'ha incrementat.

22.4. Les percepcions climàtiques del públic en general a l'Estat espanyol⁷

La percepció del canvi climàtic està molt relacionada amb el sistema de referència i l'escala espacial que es pren per avaluar-ne els possibles impactes, i en particular, si el canvi climàtic s'entén com una amenaça per a un mateix o per a l'entorn més proper. Així, segons l'estudi del Centro de Investigaciones Sociológicas del 2007 (CIS, 2007), quan es preguntava a la població espanyola sobre els problemes més importants que afecten el món, el 28,4% indicava el canvi

6. Tot i que en aquest darrer cas és possible, tal com s'ha demostrat en altres treballs sobre les actituds davant la tecnologia, que els homes tendeixin a acceptar menys la seva ignorància.

7. Aquesta secció se centra en la presentació de dades quantitatives provinents de sondejos; per a una anàlisi qualitativa en el cas espanyol, vegeu Oltra et al., 2008.

climàtic. Però quan la mateixa pregunta prenia com a referència, no el món, sinó Espanya en concret, aquest percentatge baixava al 6,7%. I encara més, si la pregunta se centrava al seu propi poble o ciutat, l'esment del canvi climàtic baixava fins al 2,9%. Aquesta manera d'entendre el canvi climàtic com un problema llunyà en l'espai —i en general, també en el temps— és important, si no sorprenent, en un país amb un fort risc i procés de desertització com és Espanya actualment. De fet, aquesta «desapercepció» podria explicar, junt amb altres factors, una part de la resistència o de la dificultat per implementar polítiques d'adaptació efectives en el context espanyol. Amb tot, i segons l'estudi del CIS del 2007, el 82,9% de la població està d'acord amb l'afirmació que el

canvi climàtic és un fenomen que ja està produint-se (taula 1).

Tanmateix, per a aquells que van contestar afirmativament a la pregunta sobre el canvi climàtic, el mateix estudi del CIS (2007) fa dues preguntes addicionals que cal destacar. La primera pretenia saber si, al canvi climàtic, se li està donant la importància que té; i la segona, conèixer el paper de l'energia nuclear en el debat de la mitigació del canvi climàtic. Els resultats, concretament, van ser els següents (taules 2 i 3):

En general, el públic espanyol no veu que el canvi climàtic estigui sobreestimat, més aviat al contrari, a la vegada que dues tercers parts de la població opinen que caldria disminuir la proporció de l'energia nuclear. Aquestes dades dels

«Es diu que estem assistint a un procés de canvi climàtic (hivern més càlids, estius més secs), en concret un escalfament de la Terra. Creu que això és efectivament així, o que no hi ha proves evidents que això estigui passant?»	Percentatge	N
Sí, estem assistint a un procés d'escalfament de la Terra	82,9	2.061
No, no hi ha proves que això estigui passant	5,7	141
No ho sé	11,2	278
No contesta	0,2	5
Total	100,0	2.485

Taula 1. Percepció del canvi climàtic a Espanya
Font: CIS, 2007.

«Creu que, al problema de l'escalfament del planeta, se li està donant...»	Percentatge	N
La importància que té	34,6	713
Més importància de la que té	6,6	135
Menys importància de la que té	54,2	1.118
No ho sé	4,3	88
No contesta	0,3	7
Total	100,0	2.061

Taula 2. Importància relativa del canvi climàtic
Font: CIS, 2007.

En relació amb l'energia nuclear i el canvi climàtic, principalment hi ha dues posicions, amb quina està més d'acord?	Percentatge	N
La proporció d'energia nuclear hauria de disminuir, ja que implica problemes de seguretat, com els residus radioactius o el perill d'accident	74,3	1.531
La proporció de l'energia nuclear hauria d'augmentar, ja que no influeix sobre el canvi climàtic ni l'escalfament	6,9	143
No ho sé	14,5	299
No contesta	4,3	88
Total	100,0	2.061

Taula 3. Opinió sobre el paper l'energia nuclear per als que creuen que s'està produint el canvi climàtic
Font: CIS, 2007.

eurobaròmetres i del CIS també coincideixen en part amb les proporcionades per dos estudis finançats recentment per dues fundacions privades que també afronten la percepció del canvi climàtic a Espanya en el públic en general. Així, segons l'estudi del BBVA dut a terme entre novembre i desembre del 2007 a partir d'una mostra de 2.000 persones (Fundación BBVA, 2008):

- El 90,7% dels espanyols, l'any 2007 havia llegit quelcom o havien sentit a parlar de l'escalfament global, un percentatge que representa un increment del 12% respecte del 2005.
- El 85,1% creu que s'està produint el canvi climàtic a nivell global i que la temperatura global ha augmentat.
- S'entén que, per ordre de probabilitat, els efectes del canvi climàtic que d'una manera molt o bastant probable podrien afectar Espanya específicament són els següents: increment de les temperatures (88,8%), períodes de sequera més perllongats (88,3%), increment dels incendis forestals (85,9%), desertització (82,5%), inundacions freqüents de ciutats i pobles costaners (82,4%), pèrdua de cultius (82,9%), pèrdua de quilòmetres de costa a causa de l'increment del mar (77,4%), extinció d'espècies de plantes i animals (73,2%), increment de malalties (69,2%), migracions de població cap al Nord (57,4%) i disminució significativa del turisme (54,1%).
- El 81,5% està d'acord amb l'afirmació que «l'emissió excessiva de certs gasos a causa de l'activitat econòmica de l'ésser humà està accentuant l'efecte d'hivernacle».
- El 86,9% creu que l'increment de temperatura és bastant o molt perillós per al planeta.
- Respecte de la importància del canvi climàtic, el 82,3% creu que és molt important (38%) o força important (44,3%) per a un mateix i per a la família. El percentatge de «molt important» s'incrementa en considerar les generacions futures, el qual llavors arriba al 67,3%.
- El 63,1% està en desacord amb l'afirmació següent: «Els efectes de l'escalfament global passaran en un futur molt llunyà com perquè ara m'hi preocupi personalment».
- El 69,7% està en desacord amb l'afirmació següent: «Tot el que es diu avui dia sobre

l'escalfament global, és una moda que passarà en uns anys».

- Solament el 0,6% està d'acord que «No hi ha cap evidència científica com per dir que l'escalfament global existeix».
- El 64,8% creu que es tracta d'un procés provocat per l'activitat humana, en contrast amb el 4,9% que pensa que es tracta d'un procés natural de la Terra, el 21,5% que creu ambdues coses, i el 8,8%, que no ho sap o no contesta.
- El 83,5% de la població espanyola creu que cal prendre mesures de manera immediata per enfrontar-se al canvi climàtic.
- El 86,6% dels ciutadans espanyols creu que cal «Canviar significativament el nostre estil de vida per tal d'enfrontar-nos al canvi climàtic».
- El nivell general d'optimisme de la població espanyola respecte de la possibilitat de reduir els efectes del canvi climàtic és relativament alt, ja que un 71% creu que això és bastant o molt possible. Cal dir que és notable el paper que s'atorga a la tecnologia, ja que el 68% creu que la tecnologia pot reduir els impactes de l'escalfament global.
- El 71,7% de la població afirma que estaria disposat a introduir canvis en el seu estil de vida propi per combatre l'escalfament global, i fins i tot la majoria estaria disposada a pagar una mica més per disposar de fonts d'energia no contaminants. Però la majoria de la població espanyola està més disposada que es prenguin mesures que afectin les empreses, i no tant a implementar mesures que poguessin afectar a un mateix personalment, com podria ser la pujada d'impostos en la gasolina.⁸ Així doncs, la mesura que rep més suport de la població espanyola és imposar multes a les empreses que no redueixin les seves emissions de CO₂.

8. Malgrat que és molt freqüent en els estudis d'opinió la pregunta si hom estaria disposat a apujar els impostos per protegir el medi ambient, val a dir que aquesta pregunta no té cap mena de sentit políticament (igual que aquelles que tendeixen a contraposar conservació del medi ambient i desenvolupament). Això és així perquè el que defensen els posicionaments ecologistes no és una pujada general dels impostos, sinó una redistribució; és a dir, canviar l'estructura impositiva —reduint els impostos de la renda i incrementant-ne els del consum de recursos i contaminació—, per tal d'incorporar les responsabilitats ambientals corresponents al sistema impositiu general.

Amb tot, la crisi econòmica s'ha fet notar en la manera com percep el canvi climàtic la població general, no solament a Europa, sinó especialment en el cas de l'Estat espanyol. Segons l'Eurobaròmetre del 2009, davant la pregunta «Quins són els tres problemes més importants amb què ara s'enfronta el món?», el 44% dels espanyols va esmentar el canvi climàtic, la qual cosa representa un notable davallada respecte del 61% que ho havia respost la primavera del 2008. Paral·lelament, a Espanya la indicació de la crisi econòmica global es va incrementar, en passar de sols el 29% el 2008 al 50% el 2009. D'altra banda, quan es demanava sobre la importància del canvi climàtic en particular, l'any 2009 el 70% de la població creia que constituïa un problema molt seriós, mentre que el 17% creia que era un problema bastant seriós, percentatges que en part també s'havien reduït en relació amb l'any anterior (el 2008, assolien el 83% i el 29%, respectivament). Ara bé, el cas d'Espanya és especialment destacable pel que fa a aquelles persones que creuen que el canvi climàtic podria tenir un efecte positiu en l'economia, ja que és un dels països de la UE on aquesta percepció s'ha incrementat més (després d'Holanda), passant del 45% el 2008 al 55% el 2009. Però Espanya també és el tercer país de la UE on aquesta pregunta mostra un major nombre de persones que afirmen no saber quin impacte podria tenir sobre l'economia (el 32% el 2009).

Entre el 2008 i el 2009 a Espanya s'incrementà lleument la polarització entre els «optimistes» i els «pessimistes» sobre el canvi climàtic. Així doncs, el 2009 el 62% de la població espanyola no estava d'acord amb l'afirmació «El canvi climàtic no es pot aturar», mentre que el 2008 aquest percentatge era del 58%; però a la vegada, el 27% hi estava d'acord el 2009, mentre que el 2008 aquest percentatge era del 24%. Per tant, les persones que van afirmar no saber contestar aquesta qüestió es reduï del 18% el 2008 a l'11% el 2009 (EC, 2008, 2009). Aquest increment de la polarització, junt amb la reducció dels que no contesten, es podria explicar pel fet que el públic espanyol es troba cada vegada més exposat a la informació climàtica pels mitjans de comunicació (vegeu secció 7). Però alhora, a una informació que en el cas de la premsa

escrita també està molt polaritzada i molt condicionada pel tipus d'orientació ideològica de la font en qüestió.

El sentiment de competència personal a l'hora de resoldre els problemes ambientals és una altra dimensió sovint explorada en els sondejos de percepció ambiental. Tot i que no estava específicament dedicat al canvi climàtic, l'estudi del CIS del 2007 revelava que el 63,7% de la població espanyola estava en desacord amb l'afirmació que «Una persona com jo és difícil que pugui fer quelcom per al medi ambient», mentre que el 27% de la població espanyola hi està d'acord o totalment d'acord. No obstant això, aquesta actitud més aviat positiva depèn en gran mesura de la percepció que es tingui del que hi fan els altres. Per això, quan a la població espanyola els pregunten si està d'acord amb l'afirmació «No té sentit que jo faci tot el que pugui per al medi ambient si els altres no fan el mateix», el 35,1% hi està d'acord o molt d'acord, mentre que el 50,8% hi està en desacord. És molt probable, doncs, i com a hipòtesi, que per al cas del canvi climàtic també es produeixi aquest fenomen d'afinitat electiva, en què la tria per emprendre accions individuals i voluntàries per conservar el clima depèn en part de la percepció que es tingui del que fan els altres. Segons aquest estudi (CIS, 2007), per tal de reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle, el 62,8% estaria d'acord a «establir límits més estrictes sobre la quantitat de contaminació permesa a les indústries», el 28,2% estaria d'acord a «donar suport a plans de transport urbà [...] i públic» i el 22,8% estaria d'acord a «establir rebaixes fiscals a qui consumeixi menys energia». Segons els eurobaròmetres de 2008 i 2009, a Espanya el 71% de la població afirma haver emprès alguna acció en matèria de canvi climàtic l'any 2009, la qual cosa representa un increment del 5% respecte del 2008.

D'altra banda, cal esmentar que a Espanya comencen a proliferar els estudis quantitatius que exploren la percepció del canvi climàtic des de les comunitats autònomes. Així, s'han dut a terme estudis en aquesta temàtica a Galícia (Projecte Fènix, cf. Meira i Arto, 2008), o al País Basc. Amb tot, la sèrie més llarga a nivell autonòmic que conté dades quantitatives en canvi climàtic correspon a Andalusia (Moyano *et al.*, 2009)

a partir de la realització dels ecobaròmetres anuals iniciats el 2001. Els resultats d'aquests treballs es presenten en la taula 4, ja que són molt destacables. Es tracta de l'única sèrie disponible a Espanya sobre aquesta qüestió durant tant de temps i, doncs, també pot donar una certa indicació, amb la cautela escaient, de com ha evolucionat —d'una manera creixent— aquesta percepció en altres comunitats autònomes.

En concret, veiem una tendència clarament creixent de la importància atorgada al canvi climàtic per la població andalusa.

22.5. Algunes dades en el cas de Catalunya

Un dels primers treballs quantitius sobre percepció del canvi climàtic a Catalunya fou l'elaborat per Solà *et al.* (2008), a partir d'una enquesta a 500 persones realitzada el desembre del 2006. En aquell treball, s'hi destacava, entre altres coses, que per a més de la meitat de la població catalana (el 53%) el canvi climàtic és un problema seriós que exigeix una actuació immediata. El mateix equip ha publicat altres treballs de caràcter qualitatiu en què incorporen dades sobre aquest tema a partir de set grups de discussió realitzats a Barcelona (Oltra *et al.*, 2009; (Oltra *et al.*, 2008). Com que l'objectiu d'aquest capítol és evitar redundàncies de dades ja publicades anteriorment a Catalunya, incloses les publicades per al Departament de Medi Ambient i Habitatge (2010), els lectors interessats poden, per exemple, dirigir-se a aquestes fonts, juntament amb d'altres esmentades en la introducció.

Des del maig del 2008, el Departament de Medi Ambient duu a terme dos cops a l'any uns sondejos quantitius sobre percepció general del medi ambient i que inclouen unes quantes preguntes relatives al canvi climàtic. Malgrat el disseny metodològic encara es podria ajustar una mica més a les preguntes que s'utilitzen en els es-

tudis internacionals; en particular hom detecta els següents resultats:

1. Quan als ciutadans se'ls pregunta de manera espontània i oberta «Quins són els tres problemes ambientals que li preocupen més?», el canvi climàtic en general apareix en segon tercer lloc, després de 'la contaminació en general' de l'aire o la contaminació de l'aigua. En particular, i centrant-nos en els treballs del 2009, veiem que el 22 per cent dels enquestats resultats mencionaren el canvi climàtic al mes de juny, i s'incrementaren al 29 per cent el novembre del mateix any.

2. Gairebé 8 de cada 10 persones afirmen estar molt o força preocupades pel canvi climàtic, i en particular el percentatge de persones que es mostraren molt preocupades per canvi climàtic s'incrementà del 34 al 41 per cent entre el juny i novembre del 2009.

3. Les persones que no es mostren gaire preocupades pel canvi climàtic acostumen a ser homes i persones grans, mentre que les més preocupades tendeixen a ser dones i les que tenen entre 45 i 64 anys.

4. Segons les dades disponibles pel Departament de Medi Ambient i Habitatge, el nombre de persones que afirmen fer quelcom per el canvi climàtic és molt elevat (la qual cosa podria ser efecte del conegut biaix ambiental, respondre el hom creu que ha de respondre enlloc del que realment pensa o fa). En concret, el juny del 2009 un 79 per cent afirmaren fer quelcom al respecte, percentatge que passà al 86 per cent el novembre 2009. Aquelles persones majors de 65 anys, amb un nivell baix d'estudis i que no es connecten mai a la Internet són en major grau les que afirmen no prendre prenen cap tipus de mesura en aquest sentit.

5. El reciclatge apareix com la principal mesura que els responents diuen prendre per reduir el canvi climàtic (la qual cosa es pot interpretar que no es discriminen les accions ambientals en

«Ara us mostraré una targeta amb alguns problemes de caràcter general, és a dir que afecten tot el planeta. Per favor, digueu els dos que, segons la vostra opinió, tenen més importància» (percentatge de persones que contesten «El canvi climàtic»).							
«El canvi climàtic»	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	34,5%	31,6%	29,6%	31,9%	42,7%	43,0%	49,8%

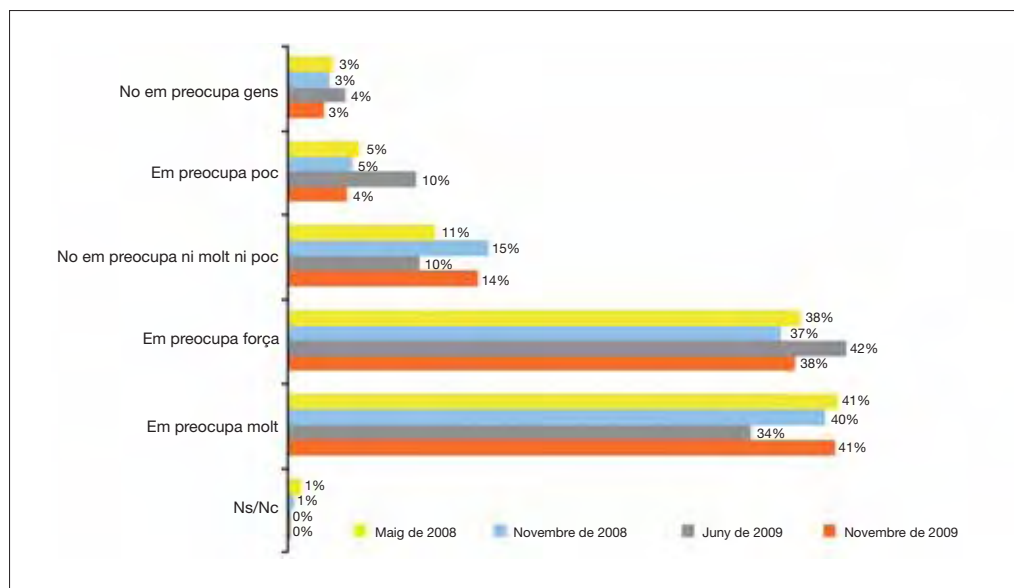
Taula 4. Evolució de la percepció del canvi climàtic a Andalusia.
Font: Moyano *et al.*, 2009.

general de les accions específicament relacionades amb el canvi climàtic), tot seguit de l'estalvi d'energia, l'estalvi d'aigua o reduir l'ús del vehicle particular.

Les taules 5, 6 i 7, donen una síntesi d'aquests resultats.

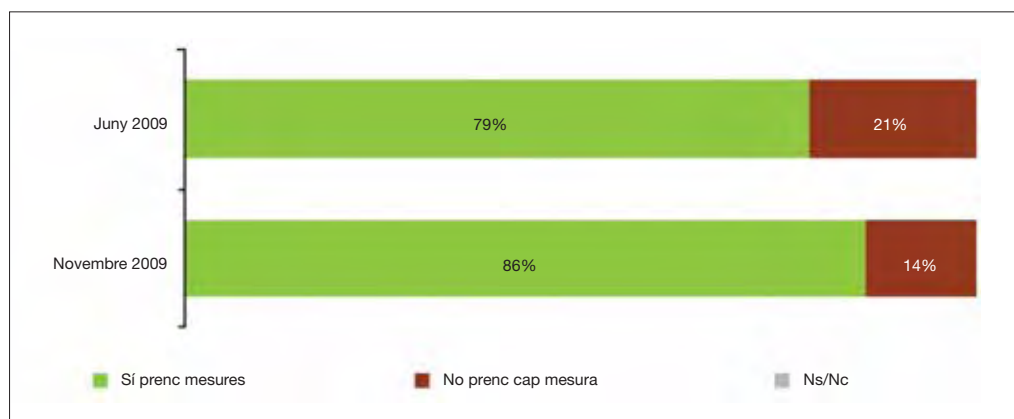
Per últim val a dir que en una enquesta realitzada per la Fundació del Món Rural a Catalunya el 2008 es preguntava a la població rural si

l'activitat agrícola i ramadera ajuda en la lluita contra el canvi climàtic i la protecció del medi ambient. Els resultats indicaven que un 56,9% dels entrevistats creia que hi ajuden; un 26,7%, que ni ajuden ni perjudiquen; un 10,3% que perjudiquen, i un 6,1% no sabia o no contestava (FMR, 2008). Per una altra banda, i segons el sondeig portat a terme pel Centre d'Estudis d'Opinió de la Generalitat de Catalunya el maig



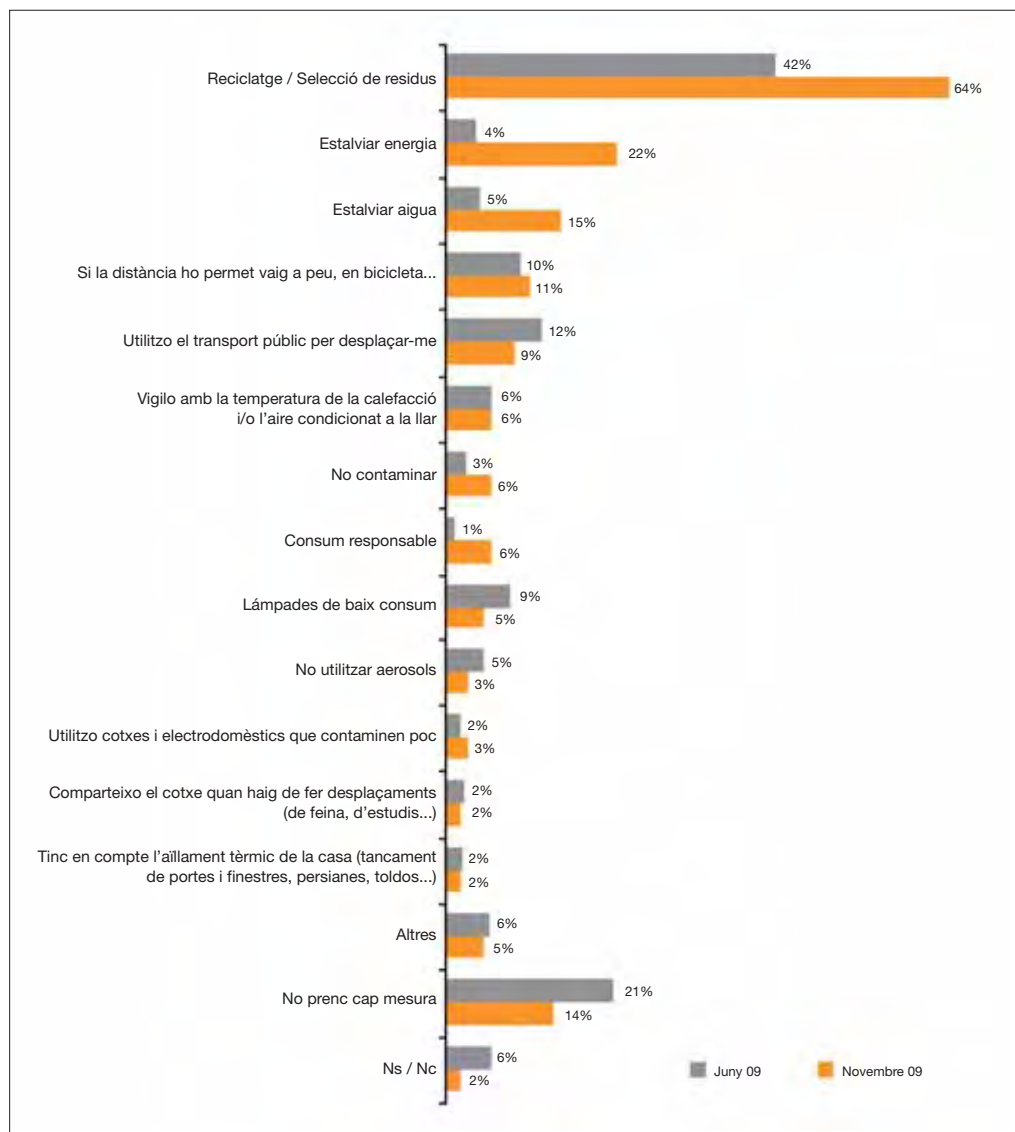
Taula 5. En una escala de l'1 al 5, on 1 seria *No em preocupa gens*, i 5 seria *Em preocupa molt*, com us posicioneu davant el canvi climàtic?

Font: DMAH, 2010.



Taula 6. Qüestió. Adopteu mesures per reduir el canvi climàtic?

Font: DMAH, 2010.



Taula 7. Ens podríeu dir quines mesures adopteu per reduir el canvi climàtic?

Font: DMAH, 2010.

del 2008, el 92,6% de la població catalana afirma que està d'acord (38,3%) o molt d'acord (54,3%) en què s'haurien de prendre mesures més fortes per protegir el medi ambient (CEO, 2008).

També podem indicar que durant la celebració de la jornada inaugural de la Convenció Catalana de Canvi Climàtic el 17 d'octubre de 2007, es va fer una enquesta d'opinió a un total

de 248 persones.⁹ Evidentment, aquest sondeig no era representatiu de la població catalana en conjunt, però sí indicatiu dels assistents, en general persones interessades o actives en temes de canvi climàtic a Catalunya. Els resultats d'aquesta enquesta apuntaven que la gran majoria

9. www.oficinadecanviclimatic.cat, en què van assistir més de 395 persones.

dels participants (entorn d'uns 200) estan d'acord que «Les accions per fer front al canvi climàtic a Catalunya les hem de considerar més com una inversió que com un cost». I a la vegada, es destacava que Catalunya «en l'àmbit de la mitigació del canvi climàtic ha de prendre un paper actiu en el lideratge europeu». El fet d'haver plantejat aquesta pregunta no deixa de ser prou interessant des del punt de vista de la comunicació política, encara que prou contradictòria i sorprenent, atès que els objectius de mitigació de Catalunya, en correspondència amb els de la resta de l'Estat espanyol, no són de reducció efectiva d'emissions, sinó de compliment dels compromisos pactats per a l'increment d'emissions (vegeu la pregunta 16 a la secció 6).¹⁰

22.6. Contingut i metodologia

Com que dintre de l'abast del nostre treball és impossible efectuar un examen detallat de les percepcions de les diverses subpoblacions rellevants o vulnerables en temes de canvi climàtic a Catalunya, s'ha triat un grup que és especialment rellevant en el debat i la política del clima: els experts i agents socials actius. L'objectiu d'aquesta secció és complementar els estudis quantitius realitzats a la població general. Molt sovint, els resultats obtinguts en sondeigs a grans mostres tenen poca utilitat a l'hora d'informar sobre la presa de decisions. Això és així perquè la informació que aporten es basen en opinions que es generen a partir d'un coneixement molt superficial de temàtiques tan complexes com és ara el canvi climàtic. En realitat, els estudis centrats en les opinions d'experts intenten evitar, en la mesura que això és possible, caure en la coneguda paradoxa metodològica del que «no en sap i contesta»...

A continuació es mostren i s'analitzen els resultats d'una enquesta realitzada entre l'1 d'agost i el 10 de novembre de 2009 a 19 persones coneixedores, de reconeguda experiència i/o implicades en aquesta problemàtica a Catalunya. Així, 15 de les persones consultades formen part del Grup d'Experts de Canvi Climàtic de Catalunya, 3 provenen del món cívic o ambientalista, i també hi ha un professional dels mitjans de comunicació.¹¹ Cal advertir, però, que malgrat que els resultats quantitius de les respostes d'aquest qüestionari aporten una indicació general de l'opinió en conjunt d'aquests experts, els resultats potser més destacables tenen a veure amb les seves interpretacions qualitatives per separat. Des d'un punt de vista metodològic no té gaire sentit «sumar» opinions d'experts i agents tan distints —i a més, en mostres tan petites— quan aquests no han seguit un procés d'integració, avaluació i/o diàleg conjunt d'una manera estructurada i formal. Amb tot, quan les opinions són generalitzades i molt clares, com és el cas d'algunes de les qüestions formulades a continuació, els resultats són, si més no, prou indicatius.

En particular, el qüestionari utilitzat s'estructurà en sis seccions:

1. Tendències, impactes i vulnerabilitat
2. Mitigació
3. Adaptació
4. Canvi climàtic i desenvolupament sostenible
5. Ciència, política i societat
6. Distribució de responsabilitats i aspectes ètics.

10. En aquella sessió també es va promoure la *Declaració a favor del compliment del Protocol de Kyoto a Catalunya*, en què explícitament s'afirmava que «sense perjudici de la necessitat d'acabar una estratègia a llarg termini, Catalunya té l'obligació immediata de complir el Protocol de Kyoto, la qual cosa és responsabilitat de tots: administracions públiques, empreses, actors socials i ciutadans, per actuar amb urgència i emprendre mesures que permetin reduir les nostres emissions de gasos amb efecte d'hivernacle» Vegeu també DMAH, 2008.

11. Concretament, les persones que van respondre (per correu electrònic o personalment) el qüestionari van ser: José M. Baldasano (GECCC), Josep Calbó (GECCC), Quim Coromines (GECCC), Pep Canadell (GECCC), Esteve Corbera (GECCC), Xavier Duran (TV3), Xavier Gabarrell (GECCC), Ramon Garriga (GECCC), Josep Enric Llebot (GECCC), Montserrat Llasat (GECCC), Anna Rosa Martínez (Greenpeace Catalunya), Agustín Sánchez Arcilla (GECCC), David Saurí (GECCC), Miquel Rafa (Fundació Territori i Paisatge), Josep Peñuelas i Rafel Simó (GECCC) i Enric Tello (Ecologistes en Acció), i dues persones més del GECCC que han preferit mantenir-se en l'anonimat. També s'entrevistà un polític rellevant en matèria de canvi climàtic, però anteriorment i sense fer ús del qüestionari, per la qual cosa els resultats d'aquella entrevista no s'han inclòs aquí.

Comprenia un total de 20 grups de preguntes que superaven un centenar d'ítems. La majoria de les preguntes es responien a partir d'una escala Likert creixent de l'1 al 10. Com que les escales Likert no són números reals, no té sentit extreure mitjanes o variacions estàndards, i menys en mostres tan petites. Per fer-ne la interpretació simplement he agrupat, d'acord amb el mateix criteri de l'Eurobaròmetre (vegeu figura 1), les opinions en tres grups:

- «NO GENS / NO GAIRE»: opinions amb valors assignat entre l'1 al 4.
- «BASTANT»: valors entre 5 i 6.
- «MOLT»: valors del 7 al 10.

No obstant això, quan és especialment rellevant també s'indiquen aquelles opinions que es valoren amb un 5, ja que aquestes també es poden interpretar com una posició indefinida. En tot cas, al final de cada pregunta s'encoratjava explícitament els entrevistats a introduir comentaris addicionals de caràcter qualitatiu (amb un text no mostrat al qüestionari que es mostra més avall). Així, tot seguit es presenten els resultats quantitatius i qualitatius obtinguts en cada pregunta. Els ítems que no es comenten són aquells que no han mostrat cap tendència particularment significativa.

22.6.1. Tendències, impactes i vulnerabilitat

L'objectiu d'aquesta primera secció era obtenir una primera impressió general de la percepció de gravetat del canvi climàtic per als experts i agents, i contrastar la idea generalitzada mostrada en els sondejos qualitatius sobre si el canvi climàtic és un fenomen que es pot aturar. Es pretenia saber quins eren els impactes que s'entenen com més importants, i intentar identificar els sectors i les subpoblacions que s'entenen com més vulnerables. Les qüestions i els resultats corresponents van ser les següents:

Pregunta 1. En quina mesura creieu probable que segons les tendències actuals en el creixement de Gasos amb Efecte d'Hivernacle (GEH) mundials **no se superarà el llindar de 2 graus** d'increment de temperatura global al 2100? (marqueu amb una creueta la vostra opinió, on 1= gens probable, 10= molt probable).

Gens probable		Poc		Bastant		Molt probable			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

RESULTATS

- La majoria dels agents consultats són més aviat pessimistes sobre la possibilitat de no superar els 2 graus d'increment de temperatura.¹² Així, 17 persones donen valors dins de la categoria de «no gens/ no gaire probable» (entre 1 i 4) i 2 respostes corresponen a «bastant probable» (marcades amb un 5). Aquests resultats obtinguts a Catalunya, es corresponen amb els d'una enquesta realitzada per *The Guardian* a 1.756 experts que assistiren a la Conferència sobre Ciència del Clima a Copenhaguen el maig del 2009 i en què 9 de cada 10 experts es van manifestar en la mateixa línia.¹³ Això, tal com s'ha mostrat en les pàgines anteriors, contrasta amb el relatiu optimisme del públic general quan se li pregunta si el canvi climàtic es podrà «resoldre». En aquest sentit, un membre del GECCC opina que:

«Seguint el creixement d'emissions actuals, l'any 2020 tindrem 400 ppm de CO₂, i 400 ppm donen un 90% de probabilitat de travessar el llindar dels 2 °C. ¿Com pot aturar un el creixement actual en només 11 anys tenint en compte que la major part del creixement en emissions ve de les nacions en desenvolupament, les quals necessiten sortir de la pobresa urgentment?».

Un problema que segons un expert es veu reforçat pels processos de retroalimentació (derivats de canvis originals i que canvien les condicions inicials dels sistemes terrestre i climàtic):

«Els efectes no previstos inicialment de retroalimentació dels processos de canvi climàtic són importants i van apareixent de forma creixent els darrers anys».

12. És a dir, un llindar que es considera com catastròfic en cas de ser superat. Val a dir que aquest llindar no ha estat lliure de crítica i s'ha dit que solament ha estat un mecanisme per poder centrar les discussions polítiques, però que no té prou base científica (per exemple, podria ser molt menor) i les incerteses són enormes.

13. <http://www.guardian.co.uk/environment/2009/apr/14/global-warming-target-2c>.

Opinió que refermen altres membres del GECCC, tot dient que:

«Tot i la crisi econòmica, les emissions superen el pitjor dels escenaris i no hi ha un diagnòstic consensuat sobre quines emissions porten a un determinat augment de la temperatura; per tant, l'escenari no pot ser optimista».

«[Aquest llindar se superarà...] Si no hi ha indicis seriosos d'un canvi de l'actual model socioeconòmic-energètic —a pesar de l'actual crisi financera industrial— que impliqui una reducció dels GEH i, en conseqüència, una estabilització de la seva concentració en l'atmosfera terrestre».

I això no serà possible, tal com indica un membre d'un grup ecologista, «Si no hi ha un gir sobtat i decidit en les polítiques».

Pregunta 2. En quina mesura creieu que el canvi climàtic a Catalunya... (*avalueu la vostra opinió de l'1 a 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*).

[] ja afecta negativament a hores d'ara.

[] afectarà negativament en els propers 50-100 anys.

RESULTATS

- 13 experts i agents actius creuen que el canvi climàtic ja afecta negativament a hores d'ara d'una manera molt probable, mentre que 3 no ho creuen així i 3 no responen. Amb tot, les tres persones que van deixar de contestar la primera pregunta afirmen que el canvi climàtic afectarà negativament en els propers 50-100 anys, la qual cosa fa pensar en una posició majoritària respecte dels possibles impactes negatius del canvi climàtic. Pel que fa als resultats qualitatius, alguns membres del GECCC assenyalen que:

«Les dades i els mesuraments existents permeten afirmar que l'actual canvi climàtic ja està afectant Catalunya. Un exemple, és l'increment en profunditat de la temperatura del mar Mediterrani».

«Crec que els efectes es notaran molt intensament en els propers 40 anys, en què esperem tenir el pic de CO₂ i temperatures».

I en particular, el membre d'una entitat conservacionista opina que:

«La fenologia de diverses espècies de flora i fauna (sobretot espècies migratòries) ja ha anat canviant i generalment amb efectes negatius de disminució de la seva productivitat reproductiva. Als propers anys (5-15) és previsible que es manifestin força més canvis als ecosistemes forestals, aquàtics i litorals, alguns d'ells amb conseqüències econòmiques (disponibilitat d'aigua per a consum humà, més incendis forestals del tipus GIF, empobriment del paisatge amb valor turístic, durada de la temporada esquí, etc.)».

De totes maneres, un expert opina que Catalunya podria adaptar-se amb més facilitat a aquests canvis:

«De moment, a Catalunya el canvi climàtic s'ha fet sentir poc, en comparació amb altres problemes ambientals que estem patint. És possible que els efectes negatius es notin en un futur més o menys immediat, però en tot cas, si Catalunya continua estant entre els països rics, podrà adaptar-s'hi molt millor que altres països de la Terra, i els efectes negatius podrien ser relativament limitats, especialment si emprenem accions d'adaptació al més aviat possible».

Pregunta 3. Entre els següents impactes o fenòmens normalment associats al canvi climàtic, quins creieu **més probables** a Catalunya en els propers anys? (*avalueu la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= gens probable, 10= molt probable*).

[] Major ocurrència d'incendis.

[] Aparició de noves pandèmies i malalties, tant en humans com en animals.

[] Major esdeveniment de fenòmens meteorològics extrems (inundacions, onades de calor...).

[] Interrupció en la provisió de recursos bàsics, com ara l'energia o l'aigua, a causa d'un major consum.

[] Elevació del nivell del mar i increment de l'erosió costanera.

[] Pèrdua substantiva de la biodiversitat.

[] Altres impactes o fenòmens, *especifiqueu-los...*

RESULTATS

- El principals impactes esmentats pels experts i agents consultats tenen a veure amb un augment d'ocurrència de fenòmens meteorològics extrems (13 valors com a molt probable), tot seguit de l'ocurrència d'incendis (11 respostes com a molt probable) i l'erosió costanera (10). L'aparició de noves pandèmies i malalties es considera com l'impacte menys probable. No obstant això, en aquest apartat reafirmen que el principal problema podria venir de:

«L'enfortiment de la retroalimentació [com ara] l'increment d'incendis augmentarà les emissions de GEH, i l'increment de temperatura augmentarà el consum d'energia».

Tot puntualitzant que:

«Tot i que és difícil fer prediccions, el sector més vulnerable (ja ho és ara) és el de disponibilitat de recursos hídrics i, en segon lloc, el transport com a conseqüència de la seva estructura i de la repercussió en les emissions. Tanmateix en aquest segon sector, l'adaptació (vehicles elèctrics...) pot tenir-hi un paper cabdal...».

P1. Entre els següents **sectors i activitats**, quines creieu que el canvi climàtic podria afectar més negativament a Catalunya i, doncs, poden ser els més **vulnerables**? (*avalueu la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= poc vulnerable, 10= molt vulnerable*).

- ☐ Turisme
- ☐ Agricultura, sector forestal
- ☐ Abastament d'aliments
- ☐ Sector domèstic i urbà
- ☐ Provisió d'aigua
- ☐ Salut pública
- ☐ Energia
- ☐ Transport
- ☐ La indústria ramadera
- ☐ La pesca i l'aqüicultura
- ☐ Altres indústries i sectors, *especifiqueu-los...*

RESULTATS

- Els sectors que obtenen la valoració de més vulnerables a Catalunya són l'agricultura, el sector forestal i la provisió d'aigua, ja que ambdós obtenen 16 respostes com a molt vulne-

table. A continuació s'indica el turisme. El sector considerat com menys vulnerable al canvi climàtic és el domèstic. Així, un representant ecologista indica que

«Les altes temperatures influiran el turisme de platja i de muntanya. Caldrà canviar els conreus. Les centrals tèrmiques i termonuclears necessiten aigua, que serà cada cop més escassa. La qualitat de l'aigua que ara contaminem pot esdevenir un límit per a la seva disponibilitat. Els governs catalans estan limitant molt seriosament el desplegament de l'eòlica i la solar fotovoltaica, amb la qual cosa el nostre sistema energètic queda molt exposat a l'augment de temperatures, la sequera i els límits a les emissions —o al pic del petroli».

I en particular, per a un parell de membres del GECCC

«El canvi climàtic serà un factor addicional que augmentarà la vulnerabilitat de la pesca i l'aqüicultura, ja força malmeses per la contaminació i la reducció de les poblacions de peixos. L'acidificació i l'alteració dels ecosistemes marins pot empitjorar aquestes tendències».

Encara que

«Novament, costa separar el canvi climàtic d'altres causes. Per exemple, la pesca està clarament en un procés de molta vulnerabilitat, però no només pel canvi climàtic, sinó per la sobreexplotació. Igualment, els sectors energètic o de transport estan en procés de canvi, canvi que s'hauria de produir (a causa de l'esgotament del petroli), encara que el canvi climàtic no hi tingués cap relació».

P2. Entre els següents **grups de població**, quins creieu que podrien ser els més afectats negativament i, doncs, els més **vulnerables** a Catalunya? (*avalueu la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= poc vulnerable, 10= molt vulnerable*).

- ☐ Els nens.
- ☐ La gent gran.
- ☐ Els que ja pateixen malalties, com ara les de caràcter cardiorespiratori.

- [] Els discapacitats, com ara aquells amb menor mobilitat.
- [] Les poblacions rurals.
- [] Les poblacions urbanes.
- [] Els nouvinguts a Catalunya en la darrera dècada.
- [] Altres, especifiqueu-los...

RESULTATS

- Els grups de població que els experts i agents consultats consideren més vulnerables són la gent gran i els que ja pateixen alguna malaltia (15 i 12 respostes com a molt vulnerable, respectivament, i amb puntuacions molt elevades), mentre que els sectors considerats menys vulnerables al canvi climàtic són els nouvinguts a Catalunya en la darrera dècada i les poblacions urbanes. Amb tot, molts membres del GECCC opinen que és difícil discriminar o predir les poblacions més vulnerables. Així, per exemple

«En el cas de les poblacions rurals, és complicat de dir. I també dependrà del que passi, si hi ha onades de calor, problemes amb la provisió de serveis, alimentació o energia. En tot cas, dependrà de la combinació d'aquests processos i de les interaccions i esdeveniments sobtats. A més, hi ha i pot haver-hi bucles de retroalimentació. El que passi dependrà de l'accés d'aquestes poblacions a les polítiques públiques».

22.6.2. Mitigació

Aquesta secció del qüestionari pretenia explorar en quina mesura els experts estaven d'acord amb determinades mesures de mitigació, quina visió tenien de la política de mitigació en general i, en concret, a Catalunya. Es van formular les preguntes següents:

P3. En quina mesura esteu d'acord amb les següents afirmacions (*avalueu la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*).

- [] El Govern de Catalunya porta a terme una **política efectiva** per contenir significativament les emissions de Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH).
- [] La política de mitigació **suposa més costos que beneficis** a l'economia catalana i, doncs, és difícilment acceptable en una situació de crisi.

RESULTATS

- La majoria dels experts i agents consultats estan gens o no gaire d'acord (13 respostes) que el Govern de Catalunya du a terme una política efectiva per contenir les emissions de GEH i totes les persones, llevat dues, estan gens o no gaire d'acord que la política de mitigació suposa més costos que beneficis. En particular, un membre del GECCC creu que:

«A pesar de l'Oficina per al Canvi Climàtic [de la Generalitat], el conjunt de mesures estan enfocades a un manteniment del creixement permanent del PIB. Les actuals mesures per reactivar l'economia bé podrien orientar-se a adoptar mesures de mitigació».

I en concret, un ecologista opina que

«El Govern de Catalunya ha apostat pels cicles combinats i per mantenir les nuclears. En conseqüència, té polítiques que minimitzen la presència de les renovables, com ho mostra el Decret 147/2009. De fet, el Govern desincentiva la població, perquè d'una banda es pronuncia contra el canvi climàtic i de l'altra es permet augmentar les seves emissions fins al 2015 un 125% per sobre de les de 2006».

P4. En quina mesura creieu que la **societat catalana** en general ... (*avalueu la vostra opinió de l'1 a 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*).

- [] És **conscient** de la necessitat de mitigar el canvi climàtic.
- [] Està suficientment **informada** sobre la importància de mitigar el canvi climàtic.
- [] Genera els **incentius o desincentius** adequats per esperonar la mitigació del canvi climàtic.
- [] Disposa d'**opcions factibles** per mitigar el canvi climàtic.
- [] Disposa d'**institucions i recursos** adequats per mitigar el canvi climàtic.

RESULTATS

- La major part de persones consultades no estan d'acord que «La societat catalana genera incentius o desincentius per mitigar el canvi climàtic» (14 respostes de gens o no gaire d'acord) ni que disposi d'institucions i recursos

adequats per a aquest propòsit (12 respostes en aquest sentit). Tanmateix, la majoria opina que Catalunya disposa d'opcions factibles per mitigar el canvi climàtic (11 respostes molt d'acord). En aquest sentit, s'afirma que:

«Hi ha molta informació, però la societat en moltes ocasions mira cap a una altra banda per comoditat... Molta informació disponible no sempre es correspon amb una societat ben informada... Es creen molts organismes relacionats amb el canvi climàtic (oficines, grups...), però tots van de dalt (governos...) a baix (societat, i això si és que arriba); i a causa del descontent general de la població amb les estructures del govern, potser no sigui del tot eficaç. S'ha de dir que també hi ha moltes organitzacions civils que hi treballen i que el suport de les institucions governamentals és essencial, però que cal donar més protagonisme i pes a les civils no governamentals, donar-los més veu i vot...».

«La informació sobre el canvi climàtic moltes vegades s'ha limitat a dir que cal reciclar i anar amb bicicleta. Es donen més consignes que no pas informació...».

P5. De les següents **mesures de mitigació**, quines creieu més factibles d'aplicació a Catalunya? (avalua la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= gens factible, 10= molt factible).

- [] Creació d'un **mercat de CO₂** català a partir de l'establiment de **límits** a les emissions.
- [] Donar suport a la creació de **sectors econòmics neutres** en GEH.
- [] Donar suport a la creació de barris o ciutats neutres en GEH.
- [] Adaptar els **edificis urbans** per millorar la seva eficiència energètica i estàndards climàtics.
- [] Aplicació d'un **impost de CO₂**, que inclogui tots els sectors.
- [] Desenvolupament i inversió pública significativa en **energies renovables dirigides a la substitució** (no a la complementarietat) d'energies no renovables i/o intensives en CO₂.
- [] No donar **subvencions** a la compra de **vehicles privats**.
- [] **Desincentivar el transport privat** per carretera, incloent-hi les noves infraestructures viàries.

- [] Desenvolupament de sistemes de **certificació de productes** en baix contingut de CO₂.
- [] Potenciar el **teletreball** (possibilitat de treballar a distància) i afavorir canvis en la legislació laboral per tal de fer-la més efectiva des del punt de vista climàtic.
- [] Introduir canvis en la **planificació territorial** (p. ex. contenir la dispersió urbana).
- [] Reducció substantiva de les emissions derivades del residu, incloent-hi la incineració.
- [] Promoure **acords voluntaris** entre empreses per a la reducció de GEH.
- [] Promoure projectes d'inversió dirigits a la mitigació que puguin participar en el comerç o la compensació d'emissions (**Domestic offsets**), tant dintre com fora del nostre país.
- [] Fer una **avaluació d'impacte climàtic** de les noves infraestructures i grans inversions.
- [] Donar suport a **xarxes** d'actors per a la inversió i transferència de **tecnologia** neutra en CO₂.
- [] Altres, *especifiqueu-les...*

RESULTATS

- Les tres mesures de mitigació que els experts i agents consultats creuen com més factibles són la realització d'avaluacions d'impacte climàtic de les noves infraestructures i inversions (18 respostes com a molt factible), el desenvolupament d'energies renovables dirigides a la substitució d'energies no renovables (16 respostes i amb les puntuacions més elevades) i la reducció substantiva d'emissions derivades de residu i la incineració (16 respostes). Tot seguit i amb poca diferència, també creuen com molt factibles donar suport a xarxes d'actors per a la transferència de tecnologia neutra en CO₂ (15 respostes com a molt factible) i l'adaptació d'edificis urbans (14 respostes). La mesura de mitigació que creuen menys factible és la creació d'un mercat català de CO₂, mentre que les dues que creen més divergència d'opinions són donar suport a barris o ciutats neutres en CO₂ i l'aplicació d'un impost de CO₂ que inclogui tots els sectors. En aquest sentit un membre del GECCC opina que:

«Crec que totes les mesures són [...] factibles per aplicar a Catalunya. L'important, però, és entendre quina és l'efectivitat a mitigar emis-

sions de GEH. Crec que l'important és promoure solucions que no només ajudin a esdevenir més eficients en l'ús d'energia, sinó que també ajudin a la producció d'energia renovable [...] Per a mi, llevat que fem «verda» l'electricitat, i després fem «verd» el sector del transport, no aconseguirem els objectius necessaris».

22.6.3. Adaptació

De manera paral·lela a l'apartat anterior, en aquest es plantejava la percepció de les diverses mesures d'adaptació i la percepció de la població catalana que arriba als experts. Les qüestions formulades foren les següents:

P6. En quina mesura creieu que la societat catalana en general... (*avalueu la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*).

- [] És **conscient** de la necessitat d'adaptar-se al canvi climàtic.
- [] Està suficientment **informada** sobre la importància d'adaptar-se al canvi climàtic.
- [] Genera els **incentius o desincentius** adequats per esperonar l'adaptació del canvi climàtic.
- [] Disposa d'**opcions factibles** per d'adaptar-se al canvi climàtic.
- [] Disposa d'**institucions i dels recursos** adequats per adaptar-se al canvi climàtic.
- [] **S'adaptarà** igualment al canvi climàtic, **de manera autònoma i eficient**, encara que no hi hagi gaire intervenció dels poders públics.

RESULTATS

- Segons els experts consultats, l'afirmació amb la qual estan més en desacord és que la societat catalana genera els incentius o desincentius necessaris per esperonar l'adaptació al canvi climàtic (15 respostes de gens o no gaire d'acord) o que està prou informada per a aquest objectiu. Amb tot, la majoria estan bastant d'acord (9) o molt d'acord (5) que Catalunya disposa d'opcions factibles per adaptar-se al canvi climàtic. Concretament, un membre del GECCC creu que:

«Entenc que la principal adaptació al canvi climàtic de la societat catalana té i tindrà a veure, prioritàriament, amb l'escassetat d'aigua. En

aquest sentit, en entorns urbans, és probable que les dessalinitzadores evitin la reflexió sobre la necessitat de consumir menys aigua. També val a dir que, en aquest sentit, la societat sempre ha respost molt bé en èpoques de sequera i n'ha reduït notablement el consum. El gran interrogant dels processos adaptatius radica segurament en els sectors més directament dependents dels ecosistemes i de la meteorologia. En aquests sectors, l'adaptació serà un procés gradual i segurament subsidiat des del Govern, amb suport per l'R+D (selecció de cultius més resistents a les altes temperatures) i el desenvolupament tecnològic».

I un membre d'un grup ecologista comenta que

«Pel que fa a l'adaptació, és una qüestió de ritme, pot haver-hi una catàstrofe. Si hi ha una adaptació de manera autònoma no hi haurà adaptació eficient».

P7. De les següents **mesures d'adaptació**, quines creieu més factibles d'aplicació a Catalunya: (*avalueu de l'1 al 10, on 1= gens factible, 10= molt factible*).

- [] Reduir l'extensió de **regadius** a Catalunya.
- [] **Diversificar** la producció agrària catalana.
- [] Modificar els sistemes de **subvencions agràries**.
- [] Retirar i impedir la **urbanització** de la primera línia de mar a les **zones costaneres** més sensibles, (com ara el Delta de Ebre).
- [] Desenvolupar noves eines d'**informació i comunicació** (TIC) per a alerta i seguiment i bones pràctiques per fer front als impactes del canvi climàtic a nivell local.
- [] Deixar de subvencionar o permetre l'expansió de **pistes d'esquí** al Pirineu català.
- [] Adaptar els **edificis urbans** per preveure les noves condicions climàtiques.
- [] Promoure l'establiment de **sistemes descentralitzats** de captació i reutilització d'**aigües** urbanes (com és ara el cas de les aigües grises, pous, aigües pluvials, etc.).
- [] Desenvolupar **mercats locals** per a l'abastament d'aliments o altres recursos, com l'energia.
- [] Evitar el **despoblament** de les zones rurals, amb la consegüent pèrdua de diversitat paisatgística i de recursos naturals que això suposa.

- [] Introduir canvis en els **sistemes de propietat de recursos**, com ara la propietat agrícola, forestal o del sòl per adaptar-les a noves exigències climàtiques.
- [] Introduir canvis en la **planificació territorial** i la construcció de noves infraestructures per adaptar-la a noves exigències climàtiques.
- [] Desenvolupament de nous **instruments financers i d'assegurança** als nous riscos climàtics.
- [] Altres, *especifiqueu-les...*

RESULTATS

- Les quatre mesures d'adaptació que els experts consultats creuen com més factibles a Catalunya són: l'adaptació d'edificis urbans (18 respostes molt d'acord), el desenvolupament de noves eines d'alerta, informació i comunicació (17), l'establiment de sistemes descentralitzats de captació i reutilització d'aigües (17), i retirar la urbanització de les zones costaneres (17). Altres mesures que es creuen molt factibles són la planificació (15) i el desenvolupament de mercats locals (13). Mentre que les dues mesures d'adaptació que es consideren menys factibles són la reducció de regadius (6 entrevistats ho creuen gens o no gaire factible, i sols 4 molt factible) i la introducció de canvis en els sistemes de propietat (5 i 4, respectivament). D'aquesta manera es considera que:

«[Respecte dels regadius] és viable l'estabilitat i no el creixement, però amb flexibilitat de concessió, de tal manera que en moments de sequera es faci servir el banc d'aigües que ja existeix, per exemple per garantir seguretat alimentària i d'abastament d'aigua. Reduir l'extensió dels regadius pot ser massa radical i fins i tot perillós des del punt de vista de la seguretat alimentària. Cal garantir la qualitat dels ecosistemes i l'abastament urbà; però a la vegada cal evitar la sobreinversió en infraestructures de provisió d'aigua».

«El canvi climàtic podria ser un factor que ens porti cap una «propietat limitada». De fet, ja hi està, ja que hi ha tot un seguit de factors que condicionen la propietat *de facto*, però no és gaire urgent de canviar la propietat com a tal, sinó el conjunt dels factors que afecten aquesta

propietat. El canvi climàtic podria ser un d'aquests factors, és factible i ja està passant».

22.6.4. Canvi climàtic i desenvolupament sostenible

En aquesta secció es pretenia anar ampliant la reflexió sobre el problema del canvi climàtic per tal d'introduir els aspectes de desenvolupament sostenible, la integració amb altres polítiques i el paper del context internacional. Per això es plantejaven les preguntes següents:

P8. En quina mesura creieu que en general les **polítiques de creixement actuals a Catalunya...** (*avalueu la vostra opinió de l'1 a 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*):

- [] **Difículten la mitigació** del canvi climàtic a Catalunya.
- [] **Difículten l'adaptació** al canvi climàtic de Catalunya.
- [] **Incrementen la vulnerabilitat** de Catalunya al canvi climàtic.

RESULTATS

- La majoria dels entrevistats estan molt d'acord que les polítiques de creixement actuals a Catalunya dificulten la mitigació del canvi climàtic (16 respostes molt d'acord i amb la puntuació més elevada) i també hi estan molt d'acord, però en menor mesura, que dificulten l'adaptació i incrementen la vulnerabilitat al canvi climàtic de Catalunya (16 respostes dins de la categoria «molt d'acord» en ambdós casos). Algunes reflexions qualitatives assenyalen que:

«L'única mesura realment eficaç és parar el creixement. Com fer-ho sense entrar en una profunda crisi? Però com continuar creixent sense arribar al col·lapse? Aquestes són al meu entendre les preguntes fonamentals i que cal debatre entre tots els països... L'adaptació al canvi climàtic passa per una moderació del consum, pel decreixement (aquesta és una afirmació bastant comuna dels diferents experts que he pogut escoltar). A la llarga s'adaptarà o no tindrà més remei que fer-ho; per exemple: durant l'últim període de sequera es va baixar el consum d'aigua...».

«Dominen els plantejaments i objectius d'un creixement econòmic sostingut».

I en particular, un entrevistat ecologista remarca que

«Catalunya viu totalment d'esquena al canvi climàtic».

Encara que segons un membre del GECCC

«El creixement il·limitat ho dificulta tot, però en si no dificulta l'adaptació. Si el metabolisme d'un organisme és més alt, l'adaptació és més fàcil».¹⁴

P9. En quina mesura creieu que la **societat catalana** en general... (*avalueu la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*).

- [] Comença a entendre el canvi climàtic no sols com una amenaça, sinó com una **oportunitat** d'innovació, col·laboració internacional i desenvolupament sostenible.
- [] Té intenció de **modificar** significativament el **patró** present i dominant de **creixement econòmic** arran de la nova situació climàtica (i en especial en sectors claus com el transport, el turisme o l'energia).

RESULTATS

- La majoria d'entrevistats (12) no estan gens o no gaire d'acord amb cap de les dues afirmacions anteriors, però especialment amb la segona, ja que dona uns valors més baixos. És a dir, la societat catalana no té intenció de modificar el seu patró de creixement econòmic i encara no veu el canvi climàtic com una oportunitat. En aquest sentit, s'argumenta que

«La societat en general crec que encara no ha considerat el canvi climàtic com una oportunitat. En canvi, sí que ho estan fent diversos dirigents en alguns sectors o grups socials. No

crec, però, que la visió sigui la de canviar el patró, sinó en tot cas aprofitar el patró actual amb nous productes o serveis més o menys innecessaris...».

En aquest sentit, un expert afirma que

«[La societat catalana] no és conscient de la dimensió, velocitat i implicacions del problema».

Mentre que un ecologista diu

«Jo diria que la societat és conscient però li costa emprendre accions».

P10. En quina mesura esteu d'acord amb la següent afirmació (*avalueu la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*):

- [] El canvi climàtic pot accelerar les condicions de **pobresa mundial** de tal manera que podria acabar afectant negativament la qualitat de vida i el desenvolupament a Catalunya en un futur proper.

RESULTATS

- La majoria dels experts i agents consultats (13) estan molt d'acord amb l'afirmació anterior, tot i que algun entrevistat puntualitza que els seus impactes negatius a Catalunya són més incerts o es podrien produir més aviat a llarg termini. S'afirma, doncs, que

«Sincerament, crec que el canvi climàtic contribuirà a incrementar l'actual vulnerabilitat dels més pobres i a agreujar la seva situació. Fins a quin punt això afectarà Catalunya però, sembla discutible».

22.6.5. Ciència, política i societat

Tot seguit es pretenia acostar-se a les relacions entre ciència, política i societat tant des d'una perspectiva general com personal. Es volia que els experts i agents consultats expressessin la seva opinió pel que fa a la política de mitigació i la comunicació del clima a Catalunya. En aquest apartat s'inclouen les qüestions següents:

14. En tot cas, però, hom podria també pensar que l'adaptació d'un organisme depèn de molts factors. És a dir, no solament del metabolisme o del tipus d'organisme de què estem parlant, sinó també de la seva escala del creixement ja adquirit o acumulat, la seva relació amb els recursos o les condicions ambientals en què viu i/o les transformacions i la direcció cap on s'orienta aquest mateix metabolisme.

P11. En quin grau creieu que la **vostra activitat professional** en temes de canvi climàtic... (*avalueu la vostra opinió de l'1 a 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*).

- ☐ Incideix en les decisions actuals referents a la política del canvi climàtic a Catalunya?
- ☐ Contribueix a crear opcions per a la mitigació en algun sector a Catalunya?
- ☐ Contribueix a crear opcions per a l'adaptació en algun sector a Catalunya?
- ☐ Participa en alguna xarxa social o cívica que no sigui exclusivament de caràcter científic?
- ☐ *Especifiqueu-les...*

RESULTATS

- Solament 2 dels 15 membres dels GECCC consultats estan molt d'acord en l'afirmació referent a la seva participació en xarxes socials o cíviques que no siguin de caràcter exclusivament científic. La majoria (11) d'entrevistats creu que les seves activitats no tenen incidència en la política de canvi climàtic a Catalunya. Tenint en compte això, no és possible detectar diferències entre el camps de la mitigació o de l'adaptació. De totes maneres, alguns experts destaquen la importància de participar en la divulgació científica com

«Intentar generar opinió mitjançant actuacions de divulgació des d'una perspectiva científica en el marc social».

«Parlar, quan se'n té oportunitat, sobre el canvi climàtic des de la perspectiva del coneixement, no des de l'arenga, contribueix a una societat més responsable i activa...».

«Es tracta d'aprofitar al màxim el coneixement que ja es té i que ja es genera en diversos centres de recerca científica. I sobretot, es tracta que els que poden prendre decisions escoltin i es deixin assessorar pels científics...».

P12. En quina mesura creieu que és possible a Catalunya millorar la **integració entre el coneixement científic del canvi climàtic i els processos de decisió i la comunicació pública?** (*marqueu amb una creueta la vostra opinió on 1= gens probable, 10= molt probable*):

Gens			Poc			Bastant			Molt	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

En cas que hagueu marcat 5 o més, quines mesures o accions específiques s'hi haurien de dur a terme? (marqueu de l'1 a 10 el vostre suport, on 1= gens, 10 molt).

- ☐ Crear noves professions especialitzades de caràcter interdisciplinari amb aquest objectiu.
- ☐ Crear un consell permanent en canvi climàtic format entre científics, polítics, organitzacions de la societat civil i agents de comunicació.
- ☐ Desenvolupar nous centres especialitzats de recerca aplicada en canvi climàtic que aportin serveis d'adaptació i mitigació a les empreses i ciutadans.
- ☐ *Altres, especifiqueu-les...*

RESULTATS

- La majoria dels enquestats estan molt d'acord (16 respostes amb aquesta valoració) que és possible millorar la integració entre el coneixement, la política i la comunicació. En aquest sentit, les dues mesures que obtenen més suport són desenvolupar centres especialitzats de recerca (14 respostes de molt suport) i la creació d'un consell permanent de canvi climàtic (13 respostes). La mesura que obté menys suport és crear noves titulacions, ja que, tal com opinen alguns experts, a Catalunya ja disposem de la titulació de ciències ambientals. No obstant això, indiquen que sí és possible millorar aquesta integració mitjançant la reorientació del contingut d'algunes carreres universitàries:

«Sí, efectivament, crec que el Govern hauria d'apostar per tenir un comitè de canvi climàtic permanent, a l'estil del Regne Unit, que pogués informar transversalment sobre l'evolució de la ciència, tant pel que fa a impactes com a escenaris de mitigació i adaptació, i que treballés amb els departaments corresponents del Govern per formular polítiques o avaluar les possibles conseqüències de determinats plans i programes, en la línia del que fa el CADS».

«No cal crear noves professions, però sí cal que les que hi ha siguin millors i més competents».

P13. Amb quins objectius de **reducció d'emissions de GEH a Catalunya** estariu més d'acord a donar-hi suport? (*avalueu la vostra opinió de l'1 a 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*).

- [] Augment (no reducció) de les emissions de GEH en un 37% de les emissions el desembre de 2008 respecte de les emissions de 1990 i compra d'un 20% addicionals en drets d'emissió (objectius actuals a Espanya i, doncs, també a Catalunya).
- [] Reduir a zero l'augment d'emissions de GEH per al 2020 respecte del 1990.
- [] Reducció del 20-30% de les emissions per al 2020 respecte del 1990 (objectiu de la UE).
- [] Reducció almenys del 40% de les emissions per al 2020 respecte del 1990 (proposta de Greenpeace per als països industrialitzats).
- [] *Altres, especifiqueu-los...*

RESULTATS

- Els objectius de reducció d'emissions als quals els experts i els agents entrevistats estan disposats a donar més suport són els de disminució d'un 40% com a mínim per a l'any 2020 (13 respostes i valor mitjà com a molt d'acord), seguida per la disminució entre un 20-30% (11 respostes i un valor mitjà com a molt d'acord). En contrast, els objectius que obtenen menys suport són els que actualment prevalen en la política catalana i espanyola de no reducció de les emissions (10 respostes gens o no gaire d'acord, 5 respostes en blanc —3 de les quals indiquen el mateix, ja que corresponen a persones que donen suport a la reducció substantiva d'emissions— i amb un valor mitjà de gens o no gaire d'acord). Els experts, però, puntualitzen que

«L'acord està molt condicionat a les opcions reals possibles, i a les alternatives plantejades en cada cas».

«Crec que hem d'estar en consonància amb els països que ens envolten...».

«Donar suport, [jo] ho faria en l'última proposta, però fins i tot em sembla difícil d'assolir la penúltima».

P14. En quina mesura creieu que els **mitjans de comunicació a Catalunya** cobreixen les qüestions referents al canvi climàtic... (*marqueu de l'1 a 10, on 1= gens, 10= molt d'acord*).

- [] Suficientment o en hores de prou audiència.
- [] Acuradament i equilibrada des de la perspectiva científica.
- [] Acuradament des de la perspectiva ètica (per exemple, considerant les generacions futures o altres responsabilitats globals).
- [] De manera exagerada o sensacionalista.
- [] Intel·ligible per al públic en general.
- [] Crítica amb els decisors polítics i altres agents rellevants i més responsables a Catalunya.
- [] De tal manera que motivi, doni opcions pràctiques i ajudi a l'acció individual.

RESULTATS

- Les dues opinions més generalitzades de la mostra consultada és que els mitjans de comunicació a Catalunya no són prou crítics amb els decisors polítics i altres agents rellevants a Catalunya o que no cobreixen acuradament la informació climàtica des de la perspectiva ètica (9 opinions gens o no gaire d'acord en ambdós casos i amb valors mitjans més baixos). Tanmateix, estan bastant o molt d'acord que ho fan de manera intel·ligible per al públic en general (9 + 4 respostes, respectivament) però de manera exagerada o sensacionalista (6+7). Així, el periodista professional opina

«Alguns mitjans o professionals intenten donar una visió consistent i mesurada, però la majoria de periodistes, analistes i comentaristes habituals no tenen els coneixements ni l'interès necessaris en el tema i són els que tenen més projecció...».

Mentre que alguns experts diuen que

«Hi ha moltes ximpleries que distreuen i aporten «bona consciència», com «la revolució dels petits gestos» i similars. Són contraproductius: en un gran incendi no es pot recomanar abocar vasos d'aigua!».

«Els resulta difícil no recórrer a espantar la gent. Tot i que el canvi climàtic acapara a

vegades nivells alts d'audiència. Això es mantindrà si la informació no sempre espanta».

En aquest cas, la mostra consultada no revela una excessiva posició crítica respecte de la posició més aviat complaent que els mitjans de comunicació adopten envers la posició que prenen els polítics respecte del tema del canvi climàtic.

22.6.6. Distribució de responsabilitats i aspectes ètics

Finalment, en aquest apartat es volien introduir algunes dimensions de caràcter ètic que en general s'escapen dels aspectes més tècnics o «experts» del debat sobre el canvi climàtic, però que en tot cas tenen molta incidència a l'hora de prendre mesures. Aquestes dimensions permeten entreveure algunes de les claus més profundes a partir de les quals s'emmarca i s'interpreta la problemàtica ambiental i les possibles vies d'acció.

P15. A l'hora de **distribuir les càrregues i les responsabilitats** per les emissions de CO₂ a l'atmosfera, a quins dels següents criteris de distribució donaríeu més suport? (*avalueu la vostra opinió de l'1 a 10 el vostre suport, on 1= gens, 10= molt*).

- [] Que es busqui una distribució universal **per càpita** on decreixin les emissions dels països mentre que es permet l'increment dels països pobres (criteri de convergència i contracció) i que a partir d'aquesta quantitat es creïn mecanismes de compensació o de compra d'emissions personals addicionals.
- [] Que es tinguin en compte les **emissions històriques** de cada país i que es compensi als països en funció d'aquestes emissions.
- [] Totes les emissions de CO₂ s'haurien de **subhastar des de l'emissió zero**, i els ingressos obtinguts en aquestes subhastes s'haurien de dedicar a crear fons globals de mitigació, adaptació i desenvolupament sostenible.
- [] Caldria crear **mercats individuals** d'emissions de CO₂.
- [] **Distingir emissions bàsiques** (o de primera necessitat) **de les emissions supèrflues** i gravar amb impostos fortament les segones.
- [] Obligació de **registre personal anual d'emissions de CO₂** i taxació en funció d'aquest còmput.

RESULTATS

- El criteri per a la distribució de responsabilitats climàtiques que rep més suport dels experts i agents consultats és el de convergència i contracció (14 respostes de molt suport i 2 de bastant suport), seguit de distingir entre emissions bàsiques i supèrflues de CO₂ per gravar-les amb impostos de manera distinta. El criteri que rep menys suport és crear mercats individuals d'emissions (sols 2 valoracions molt d'acord, 6 gens o no gaire, 8 no respostes i els valors mitjans més baixos), seguit de la subhasta d'emissions. Els resultats qualitatius indiquen que

«[El criteri de] convergència i contracció és adequat, la qual cosa no vol dir que la finalitat sigui una quota igual per a cada persona del planeta. La idea és que els rics han de contraure i els pobres han d'expandir les emissions. Segurament no arribarem mai a una igualtat, però sí a un punt intermedi entre les emissions d'avui i una quota per càpita».

«Probablement les emissions per càpita siguin el millor sistema de recompte. No es poden penalitzar les emissions dels països rics per utilitzar el carbó durant el segle XIX, ja que no tenien altra alternativa, però sí que se'n pot penalitzar l'ús ara, perquè actualment sí que n'hi ha...».

P16. En quina mesura esteu d'acord que **abondar el canvi climàtic de manera eficient...** (*avalueu la vostra opinió de l'1 al 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*):

- [] És principalment una qüestió **cultural i educativa** (que suposa canvis radicals en els modes d'interpretar la realitat socioambiental present).
- [] És principalment una qüestió de transformar els **interessos corporatius** i la distribució del poder a través de la participació política.
- [] És principalment una qüestió de resoldre la **desigualtat mundial** en l'accés i la utilització de recursos naturals i energètics mundials (i que genera malbaratament i ineficiència ecològica).
- [] És principalment una qüestió **tecnològica**, de substitució i eliminació de tecnologies intenses en CO₂.

- [] Exigeix més **evidència científica** per resoldre les incerteses amb què ara ens trobem a l'hora de prendre decisions.
- [] Exigeix la distribució de **responsabilitats** (fins i tot penals en algun cas), tant d'aquells que provoquen l'increment indiscriminat d'emissions com d'aquells que haurien d'actuar per evitar-les i no ho fan en l'exercici de les seves funcions públiques.
- [] Exigeix una profunda reforma del **sistema impositiu**.

RESULTATS

- L'afirmació amb què els experts i agents entrevistats estan més d'acord és que afrontar el canvi climàtic de manera eficient és principalment una qüestió cultural i educativa (18 respostes hi estan molt d'acord), seguides de l'afirmació que es tracta principalment d'un problema de resoldre la desigualtat mundial (15 respostes) i de transformar els interessos corporatius (14). L'afirmació amb què estan més en desacord és que per resoldre el canvi climàtic cal més evidència científica (cap resposta molt d'acord, 12 gens o no gaire d'acord i un valor mitjà baix). A dos experts, els preocupa com es podrien dur a terme aquestes transformacions i les possibilitats d'esdeveniments violents o inesperats que en podrien derivar:

«La resta de punts [a part del primer] també són veritat, però només es poden dur a terme amb el primer [el cultural] (i el tecnològic en part). És allò de ¿qui posarà el picarol al gat? Fins ara, canvis d'aquest tipus s'han assolit amb guerres i/o revolucions violentes, i no crec que ara les puguem considerar ètiques o vàlides».

«Els interessos mouen el món i no veig la manera d'eliminar-los sense produir-hi pertorbacions possiblement incontrolables...».

P17. En quina mesura esteu d'acord amb l'afirmació següent (*avalueu de l'1 al 10, on 1= gens d'acord, 10= molt d'acord*):

- [] El sistema de comerç d'emissions i de compensació/compra d'emissions no resol el problema del canvi climàtic, sinó que el reforça i continua permetent la destrucció del clima per part dels països industrialitzats i més rics.

RESULTATS

- La majoria de les persones consultades estan molt d'acord (10) o bastant d'acord (4) que el comerç d'emissions no resol el problema del canvi climàtic. No obstant això, puntualitzen les seves valoracions tot dient que

«No la resol perquè les regles bàsiques d'implicació tenien com a objecte obtenir la participació i provar el sistema; des del principi ja sabíem que el 2009 no hauríem resolt res. Ara el que fa falta es portar els límits d'emissions cap avall per tal que permeti respondre agressivament a les necessitats de reduir emissions i invertir en tecnologia verda».

«Estic d'acord amb la primera part (no resol) però no en la segona (reforça). El sistema ha introduït el tema i accions en la vida i economia real de tot el planeta, i això és una fita històrica. Creure que amb una sola acció que trenca el glaç ho resoldrà tot, no és científic».

«Per si sol no serveix de gaire, sempre que el límit que s'imposi sigui eficient, tot depèn d'aquest límit».

«És un mecanisme més (no ha de ser l'únic) que ajuda, però és insuficient. Hi pot haver una utilització perversa si acaba sent l'únic mecanisme i no s'empeny per altres bandes (legislació, fiscalitat, planificació estats i governs, etc.)».

En definitiva, aquest qüestionari es va mostrar com un instrument prou eficient per explorar les percepcions dels agents actius i experts consultats a Catalunya en una problemàtica tan complexa com el canvi climàtic. Ara comentem els aspectes sobre la seva comunicació pública.

22.7. La comunicació del canvi climàtic a la premsa escrita¹⁵

Les recerques socials que versen sobre l'anàlisi de la presència del canvi climàtic als mitjans de comunicació han proliferat, els darrers anys. Els Estats Units van ser-ne pioners al respecte (Mazur i Lee, 1993; Mazur 1998; Bell 1994a,

15. Agraïixo a Anna Serra i Cristina Tous la seva col·laboració en aquesta secció.

1994b, Trumbo, 1996) i en aquest país encara se segueixen produint treballs molt interessants. És el cas de C. Russill i Z. Nyssa (2009), que tracten de l'evolució del concepte de *tipping point* (punt crític de canvi sobtat en les dinàmiques d'un sistema) en la premsa nord-americana. Actualment un dels reculls més complets és l'editat per Moseri Dilling (2007), que conté 32 assajos que afronten aquesta temàtica des d'angles prou diversos. Alguns estudis sociològics que han tractat de les relacions entre ciència, política i ciutadania en la comunicació del canvi climàtic es poden trobar a Weingart *et al.* (2000), Wilson (2000), Brenchin, (2003), McComas *et al.* (1999) i Stamm *et al.* (2000). Altres estudis es dediquen no solament a analitzar la comunicació climàtica, sinó a identificar els factors que poden millorar-la, és a dir, incrementar la comprensió del canvi climàtic entre el públic en general (McDonald, 2009). De manera notable, els darrers anys l'anàlisi de «marcs interpretatius» o culturals de les qüestions climàtiques, en la línia mostrada per Schreurs (2001), Leiserowitz (2007b), o el paper que tenen les diverses estratègies discursives dels diversos actors que participen activament en la comunicació de canvi climàtic (Carvalho, 2005, 2007; Carvalho i Burgess, 2005; Risbey, 2006) ha anat prenent més protagonisme. En aquest sentit, tal com demostraren A. M. McCright i R. E. Dunlap (2000) en el cas dels Estats Units, al final dels anys noranta va sorgir un gran nombre d'organitzacions sense ànim de lucre, principalment lligades o finançades per interessos privats i conservadors, amb la finalitat de crear estratègies comunicatives orientades a deslegitimar o qüestionar els mateixos plantejaments de l'IPCC o els avenços assolits en la política del canvi climàtic. En particular, bona part dels esforços d'aquests grups anaven dirigits a elaborar contraarguments i informes a fi de «reemmarcar» aquestes discussions per deixar de considerar el canvi climàtic com a problema polític i social, i titllar-lo simplement com un fenomen natural. Un nou tema que ha sortit en la darrera dècada és l'impacte en les percepcions públiques de pel·lícules que tracten del canvi climàtic. En particular, Leiserowitz (2004) i Reusswig i Leiserowitz van estudiar l'efecte del film *L'endemà passat*, sobre els públics dels Estats Units, la Gran Bre-

tanya, Alemanya i el Japó. Van observar que tot i detectar alguns canvis en la preocupació, actituds i motivacions generals, particularment la pel·lícula incrementà el sentiment d'ansietat sobre els riscos ambientals, però a la vegada reduí la creença en la probabilitat d'un fenomen extrem com el descrit en aquella situació (vegeu Lowe *et al.*, 2006).

El material que es presenta aquí és la continuació de les dades que es mostren a Tàbara (2005 i 2008), en què figura l'evolució del canvi climàtic en la premsa catalana en el període 1990-2007, ambdós anys inclusivament. Les dades que s'aporten es concentren en la descripció quantitativa de l'evolució d'articles que fan referència al canvi climàtic publicats a Catalunya en els diaris de més tiratge, és a dir: *El Periódico*, *La Vanguardia*, *Avui* i *El País*, al llarg del període 1990-2007. Per tant, aquests resultats aporten dades de 489 articles més que els resultats publicats fins ara a Tàbara (2008) i, doncs, mostren les tendències d'un total de 3.090 articles. Com que en aquest capítol intento evitar la presentació d'anàlisis que els lectors poden trobar en aquelles fonts, aquesta secció es limita a presentar les darreres i noves dades disponibles fins a l'any 2007 i a comentar-les molt breument.

El seguiment d'aquests articles ha permès observar una tendència creixent de la presència d'informacions referents al canvi climàtic al llarg dels darrers 17 anys. A més, la comunicació sobre el canvi climàtic en la premsa escrita catalana, tot i que ha estat subjecte a cicles en funció dels esdeveniments internacionals, ha augmentat de manera substancial sobretot a partir del 2004. Per exemple, la cobertura als mitjans de comunicació escrits durant l'any 2007 del canvi climàtic va estar molt influïda per esdeveniments com el documental d'Al Gore, l'Informe Stern o la presentació del quart informe de l'IPCC (Grup Intergovernamental de Canvi Climàtic, en la seva sigla en anglès) i en el cas de Catalunya, per la mateixa Convenció Catalana de Canvi Climàtic.

En concret, les dues etapes que van des del 1990 al 2003 i del 2004 al 2007 mostren un canvi molt substancial en la cobertura del problema del canvi climàtic pels principals mitjans escrits a Catalunya; un canvi, no solament de

caràcter quantitatiu, sinó també qualitatiu. Així, els darrers anys hi ha hagut una major cobertura dels resultats de la recerca climàtica —en la línia de mostrar un major consens— i dels processos de presa de decisions per determinar les mesures de mitigació (la ratificació del Protocol de Kyoto per part de Rússia el 2004) i recentment, malgrat que en molt menor mesura, també d'adaptació. Igualment, els mitjans mostren com els ciutadans són cada cop més sensibles al canvi climàtic i cada vegada més hi apareixen notícies de noves mobilitzacions i actuacions en aquest camp. D'altra banda, al llarg d'aquest període també han sorgit nous marcs interpretatius. En un principi, les discussions sobre el canvi climàtic estaven pràcticament presentades com a problemes científics o ambientals, mentre que d'una manera progressiva s'hi han anat afegint els aspectes econòmics —com el comerç d'emissions o els costos de la implementació del Protocol de Kyoto—, els de caràcter social i distributiu —això és, Nord-Sud—, i els de salut. Un examen més detallat de la quantitat ingent

d'informació obtinguda de ben segur que ens revelarà nous marcs interpretatius de caràcter cultural que podran ser molt útils per entendre les limitacions, així com les potencialitats d'un dels principals mecanismes de què disposem en la comunicació pública com és la premsa escrita.¹⁶

22.8. Conclusions

Aquesta contribució ha fet una revisió dels estudis més recents disponibles sobre la percepció pública del canvi climàtic en els àmbits internacional, europeu, de l'Estat espanyol i català. Entre les dificultats evidents dels resultats obtinguts de les fonts consultades, com són els *euro-baròmetres*, és que aquests estudis es fan en contextos culturals molt diferents i, doncs, una mateixa pregunta es pot arribar a interpretar de maneres molt diferents en països distints. Tanmateix, però, aquests estudis ens permeten dibuixar, com a mínim a grans trets, un perfil molt general de persona més preocupada pel canvi climàtic, en què els factors de l'educació, la ideologia, la professió i l'edat sembla que tenen una

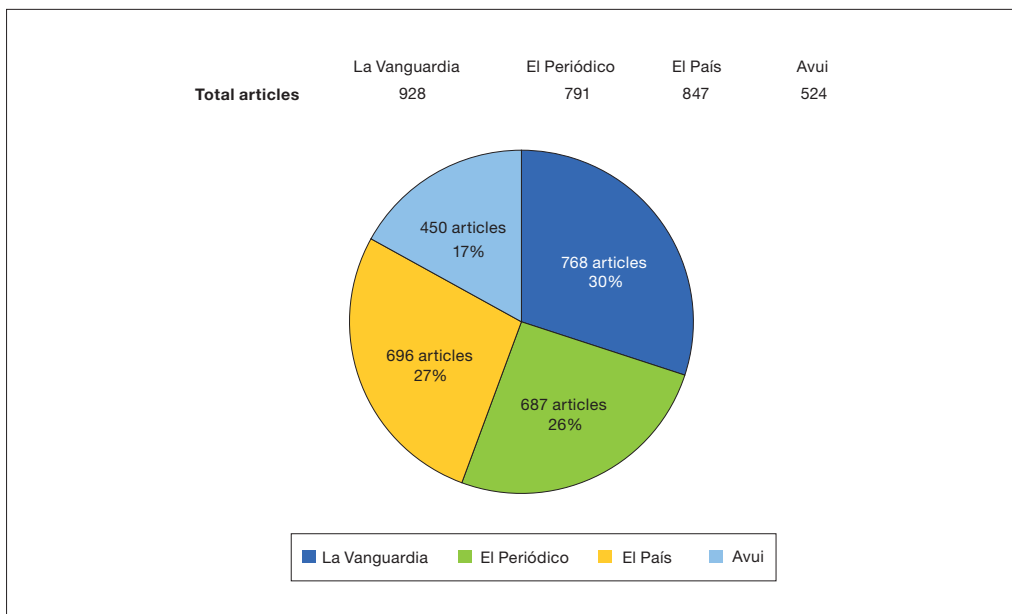


Figura 2. Total d'articles de diari publicats a Catalunya sobre canvi climàtic 1990-2007

16. Dur a terme una anàlisi qualitativa detallada de tot aquest material s'escapa de les possibilitats i els objectius d'aquest capítol.

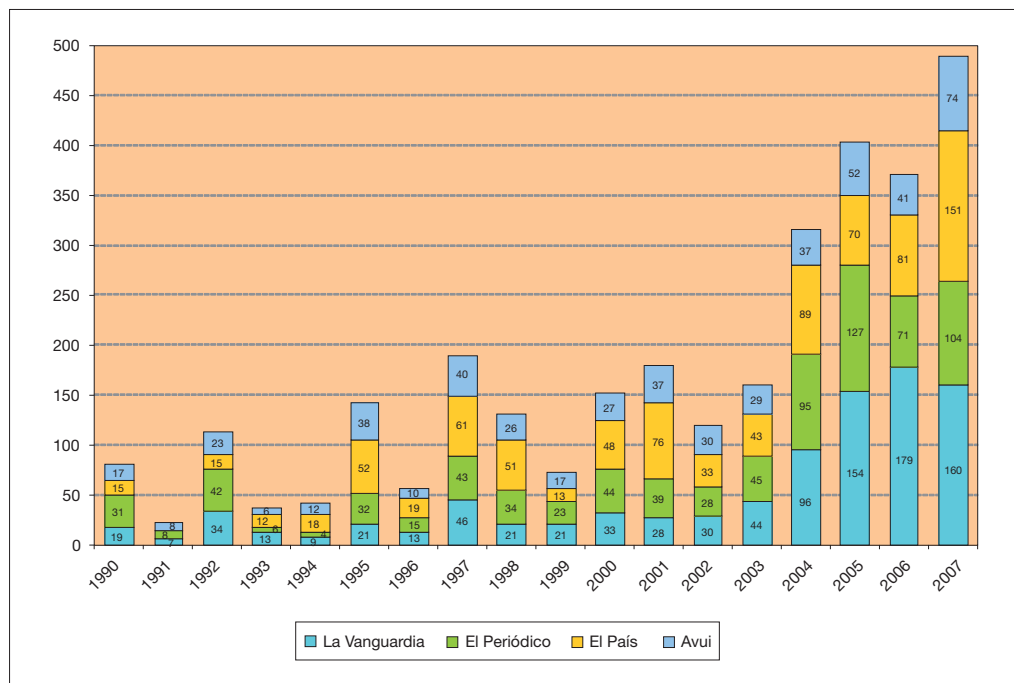


Figura 3. Evolució del nombre d'articles de diari publicats a Catalunya sobre canvi climàtic entre 1990 i 2007

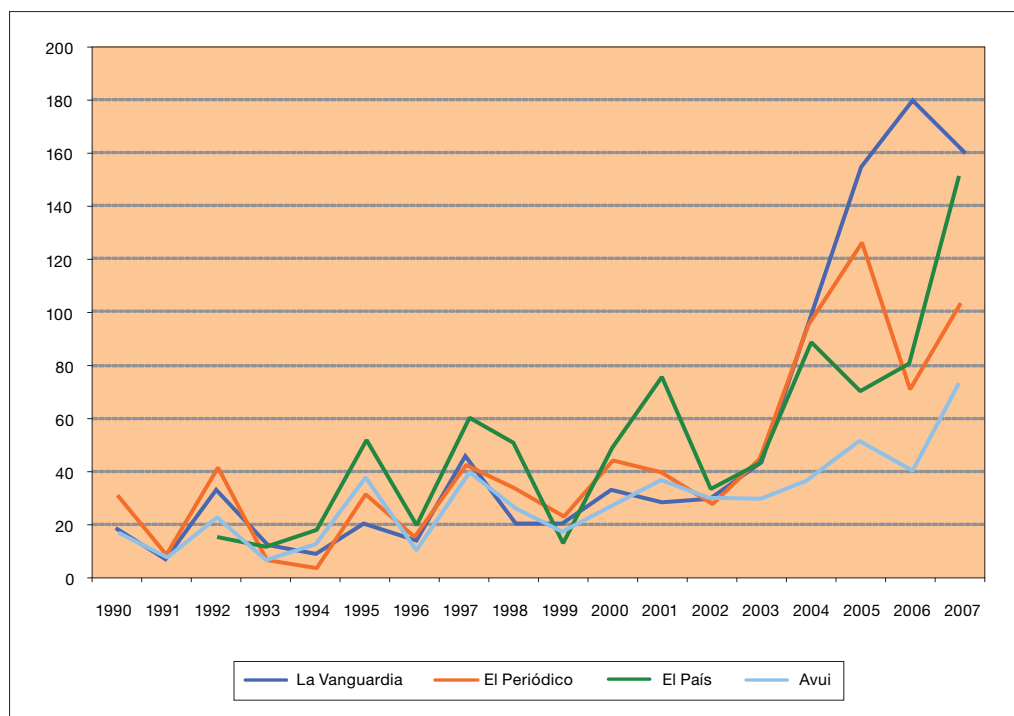


Figura 4. Evolució del nombre d'articles de diari publicats a Catalunya sobre canvi climàtic entre 1990 i 2007

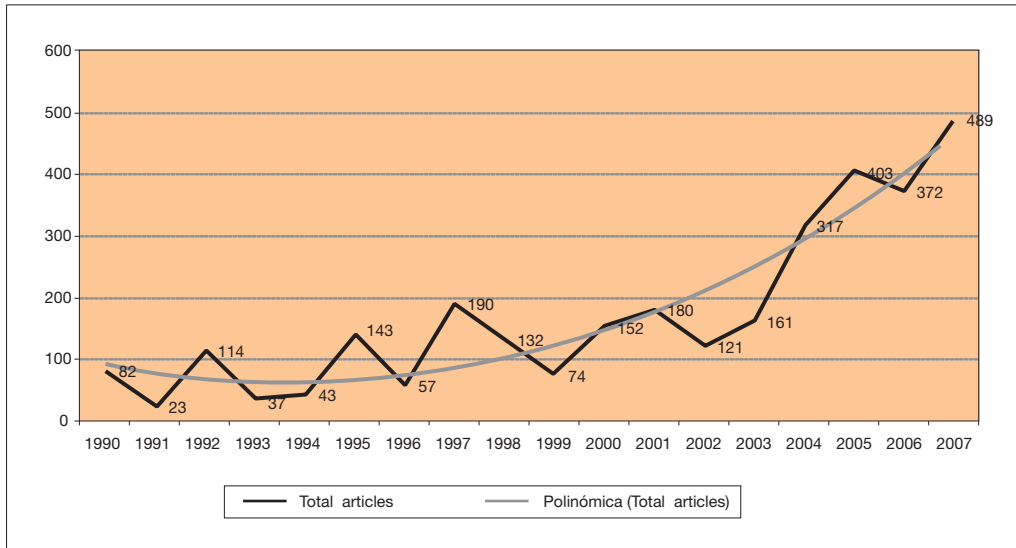


Figura 5. Evolució del nombre d'articles de diari publicats a Catalunya sobre canvi climàtic entre 1990 i 2007

influència notable —sovint molt més que l'exposició directa als riscos climàtics. En el cas del públic en general d'Espanya, s'hi detecta recentment un lleu increment de la polarització entre els que estan d'acord i els que no estan d'acord que el canvi climàtic es pugui aturar. Això es podria explicar en part per la important polarització existent també als mitjans de comunicació, tot i que de ben segur també hi tenen molt a veure els aspectes ideològics i educatius. A Catalunya, a partir del 2008 es comença a disposar de les primeres dades quantitatives en matèria de canvi climàtic a partir dels sondejos portats a terme pel DMAH. Els resultats obtinguts fins ara mostren que aproximadament 8 de cada 10 catalans consideren el canvi climàtic com un fenomen molt o força preocupant. No obstant, el gruix del present estudi s'ha concentrat en l'anàlisi de percepcions d'una selecció d'experts i agents actius a Catalunya. Molt sintèticament, els resultats de les seves opinions es poden expressar així:

- La majoria dels experts i agents socials consultats són més aviat pessimistes —més que no pas el públic en general— sobre la possibilitat de no superar els dos graus d'increment de temperatura global a final de segle.
- El canvi climàtic ja afecta negativament a hores d'ara i afectarà negativament els propers 50-100 anys.
- Els principals impactes indicats tenen a veure amb una major manifestació de fenòmens meteorològics extrems, l'ocurrència d'incendis i l'erosió costanera. L'aparició de noves pandèmies i malalties es considera com l'impacte menys probable.
- Els sectors que s'entenen com més vulnerables són l'agricultura, el sector forestal i la provisió d'aigua, seguit del turisme. El sector que es considera menys vulnerable al canvi climàtic és el domèstic.
- No obstant això, és difícil identificar els grups de població més vulnerables, tot i esmentar-ne, com a més probables, la gent gran i els que ja pateixen alguna malaltia.
- L'opinió general dels agents entrevistats és que el Govern de Catalunya no porta una política efectiva per contenir les emissions de GEH.
- Els experts i agents consultats estan gens d'acord o no gaire d'acord que la política de mitigació suposi més costos que beneficis.
- Es creu que la societat catalana no genera prou incentius o desincentius per mitigar o adaptar-se el canvi climàtic, ni disposa d'institucions ni destina els recursos adequats per a aquests propòsits. Amb tot, Catalunya disposa d'opcions factibles per fer-ho.
- Les tres mesures de mitigació que es veuen més factibles són la realització d'avaluacions

d'impacte climàtic de les noves infraestructures i inversions, el desenvolupament d'energies renovables dirigides a la substitució d'energies no renovables, i la reducció substancial d'emissions derivades de residus i la incineració. També s'avaluen com molt factibles donar suport a xarxes d'actors per a la transferència de tecnologia neutra en CO₂ i l'adaptació d'edificis urbans. La mesura de mitigació que es creu menys factible és la creació d'un mercat català de CO₂.

- Les quatre mesures d'adaptació més factibles a Catalunya són l'adaptació d'edificis urbans; el desenvolupament de noves eines d'alerta, informació i comunicació; l'establiment de sistemes descentralitzats de captació i reutilització d'aigües, i retirar la urbanització de les zones costaneres. Les menys factibles són la reducció de regadius i la introducció de canvis en els sistemes de propietat.
- S'entén que les polítiques de creixement actuals a Catalunya dificulten la mitigació del canvi climàtic i, en part, dificulten l'adaptació i incrementen la vulnerabilitat al canvi climàtic de Catalunya.
- La societat catalana no té intenció de modificar el seu patró de creixement econòmic i encara no veu el canvi climàtic com una oportunitat.
- Es creu que el canvi climàtic pot accelerar les condicions de pobresa mundial, però no és clar com això pot afectar Catalunya o quan.
- La implicació dels científics catalans en la política climàtica és molt minsa, llevat de tasques de divulgació.
- La creació de centres de recerca i transferència de coneixements climàtics es veu com una bona mesura per millorar la integració i l'acció en aquest camp.
- S'entén que afrontar el canvi climàtic d'una manera eficient és principalment una qüestió cultural i educativa i que demana abordar el problema de la desigualtat mundial.
- Es creu que el comerç d'emissions no resol per si sol el problema del canvi climàtic. Es tracta únicament d'un instrument més que cal combinar amb altres instruments.

Finalment, val a dir que la majoria dels estudis més recents sobre la percepció del canvi climàtic

han tendit a concentrar-se en l'anàlisi de la població general i, en concret, a examinar la percepció dels possibles impactes o les possibles mesures que tenen a veure amb la mitigació. Per exemple, i pel que fa a les accions possibles, el canvi climàtic s'ha emmarcat sobretot o gairebé únicament com un problema de mitigació i no d'adaptació. Això en part pot estar produït pel biaix dels plantejaments metodològics utilitzats en els estudis sobre aquesta problemàtica, que també se centren sobretot en la mitigació.¹⁷ No obstant això, encara hi ha molt de treball per fer pel que fa a l'estudi de percepcions climàtiques en subpoblacions determinades, i en especial pel que fa al cas de l'adaptació. En aquest sentit, és important l'anàlisi d'opcions d'adaptació i acceptabilitat d'escenaris de transició de poblacions i sectors potencialment més vulnerables, com ara poden ser el sector agrícola, rural i de provisió d'aigua. Aquest és el cas de noves vies d'investigació que apliquen una perspectiva comparativa i d'aprenentatge social (Hinkel *et al.*, 2009; Tàbara, 2009; Tàbara *et al.*, 2009; Tàbara *et al.*, 2010; Werners *et al.*, 2009) o, tal com fan X. Cai *et al.*, (2009), explorant les percepcions de canvi climàtic en sectors de població com són, per exemple, els nens.

Finalment, valgui dir que aquesta contribució, amb totes les seves limitacions metodològiques, no pretén ser sinó un petit pas més en la comprensió d'aquest complex món de les percepcions entre la societat i el clima del qual depenem nosaltres i les generacions que vindran.

Referències

- BELL, A. (1994a). «Climate and Opinion: Public and Media Discourse on the Global Environment». *Discourse and Society*, 5(1), p. 33-64.
- (1994b). «Media (mis)communication of the science of climate change». *Public Understanding of Science*, 3, p. 259-275.

17. Per exemple, la majoria dels estudis que inclouen la pregunta si el canvi climàtic és o no inevitable, en general no discriminen entre mitigació i adaptació: hom podria arribar a creure que en la situació actual el canvi climàtic ja és inevitable i, doncs, molt difícil de mitigar, però que en canvi és possible adaptar-se als seus impactes en funció de certes condicions.

- BRENCHIN, S.R. (2003). «Comparative Public Opinion and Knowledge on Global Climatic Change and the Kyoto Protocol: The U.S. versus the World?». *International Journal of Sociology and Social Policy*, 23(10) p. 106-134.
- BRITTLE, C.; MUTHUSWAMY, N. (2009). «Scientific elites and concern for Global Warming: the Impact of Disagreement, evidence, strength, partisan cues and exposure to news content on concern for climate change». *International Journal of Sustainable Communication*, 4 p. 23-44.
- CAI, X.; ZHAO, X.; CAREY, G. (2009). «Altruism and children perceptions about global warming». *International Journal of Sustainable Communication*, 4 p. 5-22.
- CARVALHO, A. (2007). «Ideological cultures and media discourses on scientific knowledge: re-reading news on climate change». *Public Understanding of Science*, 16 p. 223-43.
- (2005). «Representing the Politics of the Greenhouse Effect. Discursive Strategies in the British Media». *Critical Discourse Studies*, 2(1) p. 1-29.
- CARVALHO, A.; BURGUESS, J. (2005) «Cultural circuits of climate change in the UK broadsheet newspapers, 1985-2003». *Risk Analysis*, 25(6) p. 1457-70.
- CENTRE D'ESTUDIS D'OPINIÓ (CEO) 2008. *Informe sobre els valors a Catalunya: condicionants sociològics del postmaterialisme i els valors bàsics*. Maig 2008, REO 418. Generalitat de Catalunya.
- CENTRO DE INVESTIGACIONES SOCIOLOGICAS (CIS). (2007). *Ecología y medio ambiente III*. Estudi número 2682. Resultats disponibles a: http://217.140.16.67/cis/opencms/-Archivos/Marginales/2680_2699/2682/e268200.html.
- (2005). *Ecología y medio ambiente II*. Estudi número 2590. Resultats disponibles a: http://www.cis.es/cis/opencms/-Archivos/Marginales/2580_2599/2590/Es2590.pdf.
- (2000). *Medio ambiente*. Estudi número 2390. Resultats disponibles a: http://217.140.16.67/cis/opencms/-Archivos/Marginales/2380_2399/Es2390mar.pdf.
- DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE (DMAH). (2008). *Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2008-2012*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- Direcció General de Politiques Ambientals i Sostenibilitat. 2010. *Resultats de la consulta òmnibus de Catalunya sobre el medi ambient*. <http://mediambient.gencat.cat/cat/ciutadans/informacio_ambiental/omnibus/omnibus_inici.jsp?ComponentID=180439&SourcePageID=3490#1>
- DISPENSA, J.M.; BRULLE, R.J. (2003). «Media's Social Construction of Environmental Issues: Focus on Global Warming – A Comparative Study». *International Journal of Sociology and Social Policy*, 23(10) p. 74-105.
- DORAN, P.T.; KENDALL, M. (2009). «Examining the scientific consensus on climate change». *Eos. Transactions of American Geophysical Union*, vol. 90(3) p. 22-23.
- DUNLAP, R.E.; MCCRIGHT, A.M. (2008). «A Widening Gap: Republican and Democratic Views on Climate Change». *Environment*, 50 (Sept/Oct) p. 26-35.
- EUROPEAN COMMISSION (EC). (2009). «Europeans' attitudes towards climate change». *Special Eurobarometer*, 313. Disponible a: http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_313_en.pdf
- (2008). «Europeans' attitudes towards climate change». *Special Eurobarometer*, 300. Disponible a: http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_300_full_en.pdf
- (2005). «Europeans' attitudes towards climate change». *Special Eurobarometer*, 217. Disponible a: http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_217_en.pdf.
- FUNDACIÓ MÓN RURAL (FMR). (2008). *Canvi climàtic, medi ambient i sector agrari. Enquesta de Percepció del Món Rural 2008*. Disponible a www.fmr.cat.
- FUNDACIÓN BBVA (2008). *Percepciones y actitudes de los españoles hacia el calentamiento global. Principales resultados*. Document electrònic disponible a: http://w3.grupobbva.com/TLFU/dat/presentacion_calentamiento_global.pdf.
- HINKEL, J.; BISARO, S.; DOWNING, T. [et al.] (2009) «Learning to adapt: re-framing climate change adaptation». A: HULME, M.; NEUFELDT, H. (ed.). *Making Climate Change Work for Us*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- GIDDENS, A. (2009). *Politics of Climate Change*. Cambridge, UK: Polity Press.
- HULME, M. (2009). *Why We Disagree About Climate Change: Understanding Controversy, Inaction and Opportunity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KELLSTEDT, P.M.; ZAHRAH, S.; VEDLITZ, A. (2008). «Personal efficacy, the information environment, and the attitudes towards global warming and climate change in the United States». *Risk Analysis*, 28 (1) p. 113-26.

- LEISEROWITZ, A. (2007a). «International Public Opinion, Perception and Understanding of Global Climate Change». *Human Development Report 2007/2008. Fighting Climate Change. Human solidarity in a divided world*. Occasional paper 2007/31. United Nations Development Programme.
- (2007b). «Communicating the risks of global warming: American risk perceptions, affective images and interpretative communities». A: MOSER, S.C.; DILLING, L. (2007). *Creating a Climate for Change. Communicating Climate Change and Facilitating Social Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, p. 44-63.
- (2006). «Climate change risk perception and policy preferences: the role of affect, imagery, and values». *Climatic Change*, 77 p. 45-72.
- (2004). «Before and after The Day After Tomorrow: a US study of climate change risk perception». *Environment*, 46(9):24-37.
- LOWE, T.D.; BROWN, K.; DESSAI, S. [et al.] (2006). «Does tomorrow ever come? Disaster narrative and public perceptions of climate change». *Public Understanding of Science*, 15(4), p. 435-57.
- MAZUR, A. (1998). «Global Environmental Change in the News». *International Sociology*, 13(4) p. 457-472.
- MAZUR, A.; LEE, J. (1993). «Sounding the Global Alarm: Environmental Issues in the US National News». *Social Studies of Science*, 23, p. 681-720.
- MCCAULEY, A.; ROBERTSON, J.; KRUEGER, R.; GURKIN, C. (2009). «Knowing where they sit: a survey to guide the development of a climate change community engagement campaign on a university campus». *International Journal of Sustainable Communication*, 4, p. 125-141.
- MC COMAS, K.; SHANAHAN, J. (1999). «Telling Stories About Global Climate Change. Measuring the Impact of Narratives on Issue Cycles», *Communication Research* 26 (1), p. 30-57.
- MCCRIGHT, A.M.; DUNLAP, R. E. (2000). «Challenging Global Warming as a Social Problem: An Analysis of the Conservative Movement's Counter-Claims». *Social Problems*, 47(4), p. 499-522.
- MCDONALD, S. (2009). «Changing climate, changing minds: applying the literature on media effects, public opinion, and the issue-attention cycle to increase public understanding of climate change». *International Journal of Sustainable Communication*, 4, p. 45-63.
- MEIRA, P.A.; ARTO M. (2008). «De la conciencia a la acción. La representación del cambio climático en la sociedad española». *Seguridad y Medio Ambiente*, 109, p. 31-47.
- MEIRA, P.A.; ARTO, M.; MONTERO, P. (2009). *La sociedad ante el cambio climático. Conocimientos, valoraciones y comportamientos en la población española*. Madrid: Fundación Mapfre. Disponible a: <http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/prevma/cursos/la-sociedad-ante-el-cambio-climatico.pdf>.
- MILLER, D. 2010. «State of the Public Climate Debate A Review of Global Public Opinion and Sustainability Expert Views. Based on the Climate Change Monitor –An international survey on people's attitudes towards energy and climate change». Presentat a la reunió de l'European Climate Forum, Barcelona 9 d'abril de 2009.
- MOYANO, E.; PANIAGUA, A.; LAFUENTE, R. (2009). «Políticas ambientales, cambio climático y opinión pública en escenarios regionales. El caso de Andalucía». *Revista Internacional de Sociología*, 67(3) p. 681-699.
- MOSER, S. DILLING, L. (ed.) (2007). *Creating a climate for change: communicating climate change and facilitating social change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- OLTRA, C.; SOLÀ, R.; SALA, A. [et al.] (2009). «Cambio climático: Percepciones y discursos públicos». *Primasocial*, 2, p. 1-23.
- OLTRA, C.; SALA, R.; GAMERO, N.; SOLÀ, R. (2008). «Cambio climático y opinión pública en España: percepción del problema y política energética». *Sistema*, 205, p. 93-106.
- ORESKE, N. (2004). «The scientific consensus on climate change». *Nature*, 306, p.1686.
- REUSSWIG, F.; LEISEROWITZ, A. (2005). «The international impact of the Day After Tomorrow (Commentary)». *Environment*, 47(3), p. 41-43.
- RISBEY, J.S. (2006). «The new climate discourse: alarmist or alarming?». *Global Environmental Change*, 18(1) p. 26-37.
- RUSSILL, C.; NYSSA, Z. (2009). «The Tipping point trend in climate change communication». *Global Environmental Change* 19, p. 336-344.
- SCHREURS, M.; CLARK, W.; DICKSON, N.; JÄGER, J. (2001). «Issue Attention, Framing, and Actors, An Analysis of Patterns Across Arenas». A: CLARK, W.C.; JÄGER, J.; VAN EIJNDHOVEN, J.; DICKSON, N. (eds.). *Social Learning Group. Learning to Manage Global Environmental Risks: A Comparative History of Social Responses to Climate Change, Ozone Depletion and Acid Rain*; Cambridge: MIT Press, p. 21-55.

- SOLÀ, R.; OLTRA, C.; SALA, R. (2008). «La percepció pública del canvi climàtic a Catalunya. Una aproximació quantitativa». A: TÀBARA (coord.) (2008), p.13-32.
- STAMM, K.R.; CLARK, F.; REYNOLDS EBLACAS, P. (2000). «Mass communication and public Understanding of Environmental Problems: the case of global warming». *Public Understanding of Science*, 9, p. 219-237.
- TÀBARA, J.D. (2009). «Transició i integració en la planificació de l'aigua a Catalunya davant el repte del canvi climàtic». A: CUNILLERA, J.; MAS, J.; PRAT, N.; SAURÍ, D. (coord.) 2009. *Canvi climàtic i Aigua. Impactes previstos a Catalunya*. Disponible a: http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P17200198371242729159775&_nfls=false.
- (2005). «Percepció i comunicació del canvi climàtic a Catalunya». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *El canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i CADS, p. 772-815. Disponible a: <http://www.gencat.cat/cads/pdf/iccc/C3.pdf>.
- TÀBARA, J.D. (coord.) (2008). *Percepció i Política del Canvi Climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Consell Assessor de Desenvolupament Sostenible de Catalunya i Grup d'Experts de Canvi Climàtic a Catalunya. Disponible a: http://www15.gencat.net/cads/AppPHP/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=8&rid=39&tipologia=39&Itemid=53.
- TÀBARA, J.D.; COTS, F.; DAI, X. [et al.] (2009). «Social Learning on Climate Change among regional agents - insights from China, Eastern Europe and Iberia». A: LEAL FILHO, Walter; MANNKE, Franciska (eds.), *Interdisciplinary Aspects of Climate Change*. Frankfurt: Peter Lang, p. 121-150.
- TÀBARA, J.D.; DAI, X.; JIA, G. [et al.] (2010). «The Climate Learning Ladder. A pragmatic procedure to support climate adaptation». *Environmental Policy and Governance*. 20 p. 1-11.
- TÀBARA, J.D.; SAURÍ, D.; LEMKOW, L. (2005). «Els riscos ambientals a Catalunya». A: *L'Estat del Medi Ambient a Catalunya*. Bellaterra (Barcelona): ICTA-UAB, p. 225-250.
- TRUMBO, C.W. (1996). «Constructing Climate Change: Claims and Frames in US News Coverage of an Environmental Issue». *Public Understanding of Science*, 5, p. 269-283.
- TRUMBO, C.W.; SHANAHAN, J. (2000). «Social research on climate change: where we have been, where we are, and where we might go». *Public Understanding of Science*, 9, p. 199-204.
- WERNERS, S.E.; TÀBARA, J.D.; NEUFELDT, H. [et al.] (2009). «Mainstreaming Adaptation in Regional Land Use and Water Management». A: HULME, M.; NEUFELDT, H. (eds.) *Making Climate Change Work for Us*. Cambridge: Cambridge University Press.
- WHITMARSH, L. (2009). «What's in a name? Commonalities and differences in public understanding of 'climate change' and 'global warming'». *Public Understanding of Science*, 18 p. 401-420.

23. Transport, mobilitat i logística

Francesc Robusté i Miquel Àngel Estrada

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
i Centre d'Innovació del Transport (CENIT)

Francesc Robusté és doctor Enginyer de Camins, Canals i Ports, Ph.D. en Enginyeria, Master of Science en Investigació Operativa, i Master of Engineering en Transport per la Universitat de Califòrnia a Berkeley. Catedràtic de Transport de la Universitat Politècnica de Catalunya i director del Centre d'Innovació del Transport CENIT. President del Foro de la Ingeniería del Transporte de España, representant espanyol en l'OCDE i director de la Càtedra Abertis de gestió d'infraestructures del transport. Autor de més de 250 publicacions científiques, director de 13 tesis doctorals i 80 tesines de graduació i té aprovats 3 sexennis de recerca. Ha estat director de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona i membre del Consell Editorial de la revista SCI Transportation Research.

Miquel Estrada és professor lector de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i cap de projectes del Centre d'Innovació del Transport (CENIT) en les línies de recerca sobre Transport Públic i Logística. Doctor enginyer de Camins, Canals i Ports per la UPC (2007) amb una tesi doctoral sobre estratègies eficients en la logística de distribució de missatgeria, que va ser guardonada amb el V Premi Abertis de Recerca en Gestió d'Infraestructures del Transport. Durant el 2008 feu estades postdoctorals en el Rensselaer Polytechnic Institute i en la City University of New York. Autor de diverses publicacions en revistes del SCI i director de 30 tesines de graduació, ha participat en més de 15 projectes de recerca nacionals i europeus.

Cal agrair la col·laboració de Juli Tomàs en els càlculs de les emissions i de consum de carburant en la situació actual a Catalunya i Barcelona. Així mateix, la de Francesc Soriguera, Beatriz Spuch, Magín Campos, Josep M. Torné, Dulce Rosas, i Javi Ortigosa del CENIT (Centre d'Innovació del Transport de la UPC) per difondre informació específica sobre mesures sectorials. Sandra González, del Departament d'Infraestructura del Transport i Territori de la UPC, ha col·laborat en les tasques d'edició.

Resum	1015
Pròleg	1017
23.1. Introducció: canvi climàtic i transport	1019
23.1.1. Emissions de GEH en el transport i palanques de maniobra per a la seva mitigació	1019
23.1.2. Iniciatives de regulació dels sectors productors d'emissions	1022
23.1.3. Objectius de la reducció d'emissions dels sectors difusos a Espanya i Catalunya	1024
23.2. El transport a Catalunya	1025
23.2.1. Metodologia per al càlcul d'emissions i consums del sector carretera	1027
23.2.2. Classificació del tipus de vehicles	1028
23.2.3. Consum i emissions del transport per carretera a Catalunya	1029
23.2.4. Consum i emissions del transport en zona urbana. Cas de Barcelona	1031
23.3. Polítiques i plans d'acció per a la mitigació dels consums i emissions de contaminants en la mobilitat	1037
23.4. Variacions en la situació del transport respecte al primer <i>Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya</i> (ICCC05)	1053
23.5. Conclusions	1053
Referències	1054

Resum

Els efectes totals en el canvi climàtic generats pel transport són causats pels vehicles-km i les seves emissions, necessaris per satisfer una demanda de mobilitat dins una regió espacial. A banda de la distància i el nombre de vehicles, els efectes depenen també del mitjà de transport o tipus de vehicle amb què es realitzen els desplaçaments (on l'usuari escull el mode de transport en funció de la utilitat i les prestacions diferencials de cada servei), de l'ocupació del vehicle, de l'espectre tecnològic i de l'eficiència energètica que fa moure el vehicle, i dels efectes unitaris sobre el canvi climàtic que provoca el superar el temps i la distància.

Catalunya ha anat avançant en aspectes operatius i tàctics com l'increment d'ocupació dels vehicles (en breu es disposarà de carrils per a vehicles d'alta ocupació als accessos a Barcelona i de polítiques tarifàries que fomentin l'alta ocupació i els vehicles poc emissors), el foment de modes de transport ferroviari, la millora de les prestacions d'autobusos urbans i interurbans, la construcció de plataformes logístiques i la regulació de la distribució urbana de mercaderies a les hores vall, i la tarifació de l'ús de les carreteres (es preveu que la Directiva de l'Eurovinyeta s'apliqui en pocs anys) i de congestió de les grans ciutats

(a Barcelona, implementada via control de l'aparcament com a substitució del concepte i regulació tarifària encara amb perspectiva financera a la majoria dels grans eixos viaris que penetren la conurbació C-32, C-31, Túnel de Vallvidrera). El desenvolupament d'actuacions sobre l'espai urbà amb la finalitat d'adaptar-lo als desplaçaments no motoritzats (a peu o en bicicleta) també està ajudant a aconseguir una mobilitat més sostenible.

La mobilitat de persones i mercaderies a Catalunya representa 103,12 milions de vehicles-km al dia, amb un consum global de 3.173,45 milions de litres de carburant i 11,3 milions de tones equivalents de CO₂.

Dos aspectes tàctics (la crisi global de 2008-2011) i el canvi de base energètica per al transport (energia elèctrica i piles d'hidrogen, fins fa pocs anys inviables econòmicament i tècnica) permeten ser més optimistes en aquest *II Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya* i concloure que, després del 2025, les emissions del sector transport seran mínimes i només continuaran com a reptes socials el consum energètic i altres externalitats diferents de les emissions d'efecte local (congestió, accidents, efecte de barrera, etc.) d'igual importància per garantir el benestar de la població i la sostenibilitat del medi.

Pròleg

En aquest capítol els mots transport, mobilitat i logística tenen un significat equivalent quant a la perspectiva funcional de superar el temps i la distància per part de persones, mercaderies i informació. El mot transport és el més antic, amb una vessant científica que data de fa gairebé un segle (malgrat que hi ha referències a aspectes de gestió del transport des dels romans, com la conegut a Roma o la distribució nocturna de mercaderies) i fa referència a una vessant d'oferta (infraestructures, vehicles, TIC, servei). El mot logística data de la segona guerra mundial en la seva vessant científica (malgrat que el mot original *logistikos* ve del grec i significa càlcul, i la logística ha estat emprada àmpliament en causes militars; en ecologia s'han emprat corbes logístiques de creixement d'un ecosistema fent referència el mot «logístic» al simple fet d'haver d'emprar taules de logaritmes per al seu càlcul al

constar les esmentades corbes d'asímtotes amb exponencials negatives; aquesta mateixa acceptació és l'arrel dels models d'elecció de modes de transport o de rutes «logit»), i fa referència al moviment de mercaderies i objectes (dins i fora de la fàbrica). En el darrer decenni, des de la vessant del transport de persones i en un àmbit territorial urbà o metropolitana, s'està emprant el mot mobilitat, amb una perspectiva més de demanda que no pas d'oferta, amb una component social i inclusió de modes no motoritzats. Els principis científics subjacents a transport, mobilitat i logística són els mateixos: anàlisi i optimització d'operacions, microeconomia, comportament de la demanda i altres agents, assignació eficient de recursos limitats, *matching* entre ofertes discontinues i demandes contínues, gestió de processos dinàmics, etc. Actualment es tendeix a una visió sistèmica, de servei i integral de la mobilitat i, per tant, a-modal i també genèrica quant a objectes o subjectes transportats.

23.1. Introducció: canvi climàtic i transport

El transport de persones i mercaderies és un element indispensable per garantir el desenvolupament econòmic i satisfer les necessitats de mobilitat de la societat. L'increment dels fluxos de passatgers, els índexs de motorització creixents (en nombre de vehicles per miler d'habitants o en probabilitat que un desplaçament determinat es faci en un mitjà mecanitzat), l'augment del trànsit de mercaderies són alguns exemples de com la nostra societat basa bona part de l'activitat i el dinamisme en el moviment de persones i mercaderies dins uns mercats cada vegada més globals. Tanmateix, és un sector que genera uns impactes negatius en la societat i en el medi ambient com són la congestió (pèrdues de temps dels usuaris i altres externalitats), la fragmentació d'hàbitats, la contaminació acústica, un consum d'energia extensiu i unes altes emissions de gasos contaminants.

El sector del transport i la mobilitat és el sector més important de la producció d'emissions difuses, és a dir, aquelles no sotmeses a la Directiva 2003/87/CE que estableix un règim per al comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle. El transport és el responsable del consum del 42% del total de l'energia final a Espanya, amb un total de 40.650 ktep que es distribueixen per modes segons mostra la figura 1.

L'any 2006, l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle associada al transport va superar les 108Mt de CO₂ eq. a Espanya, que equivalen al 25,4% de les emissions totals i un increment del

88% respecte al 1990. Està directament relacionat amb el notable creixement de la demanda de transport. En aquest sentit, el pes del transport ha crescut del 21,4% el 1990 al 25,4% el 2006 considerant el conjunt dels gasos amb efecte d'hivernacle. Quant al repartiment modal, la carretera va causar el 89,2% de les emissions; l'aviació nacional el 6,6%; el cabotatge marítim el 3,9% i el ferrocarril el 0,3% restant. A la vegada, el transport és responsable de l'emissió d'altres contaminants com plom, metà, monòxid de carboni, òxid de sofre i òxid de nitrogen, que tenen igualment efectes sobre la salut humana i el medi ambient.

En el cas de Catalunya, el sector del transport és el principal agent emissor d'aquests gasos amb 15.029.790 tones de CO₂ eq. el 2005 respecte un total d'emissions de 59.251.920 tones de CO₂ eq. de tots els sectors (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008).

23.1.1. Emissions de GEH en el transport i palanques de maniobra per a la seva mitigació

El volum d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle produït pel flux de trànsit en una infraestructura viària és difícilment mesurable de manera directa, ja que és complicat aïllar la contribució del trànsit d'entre moltes altres contribucions, i a la vegada necessita un treball de camp extensiu amb un cost elevat per a la quantificació en un territori com Catalunya. Per aquest motiu, la mesura indirecta a partir de formulacions analítiques de producció basades en dades empíriques dels constructors de vehicles és l'alternativa utilitzada per a la seva quantificació. El volum d'emissions produït pel flux que circula per una determinada via depèn de dos factors: el factor unitari d'emissió dels vehicles (grams d'element contaminant/km), i el quilometratge de tots els vehicles que recorren per la via (vehicles-km). L'avaluació del consum de carburant realitzat pel mateix flux es pot fer de manera similar, mitjançant la determinació del factor de consum unitari dels vehicles (litres de carburant/km).

D'aquesta manera, el consum de carburant del flux de trànsit (litres) s'obté en multiplicar el quilometratge recorregut pel flux total de vehicles que circula en l'àrea d'estudi (veh/km) per un

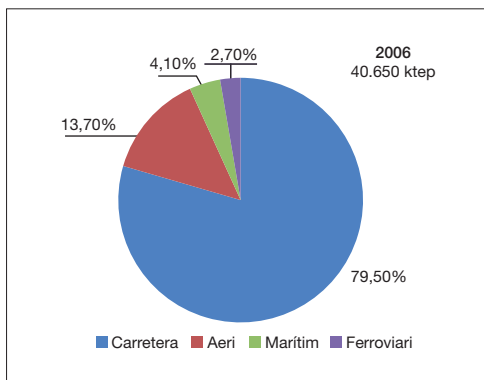


Figura 1. Consum energètic per modes de transport.
Font: Ministerio de Fomento, 2008.

factor unitari de consum mitjà del parc de vehicles (l/km). Les emissions de l'element contaminant relatiu a GEH o partícules (grams) s'obtenen en multiplicar el quilometratge recorregut pel flux total de vehicles que circula en l'àrea d'estudi (veh/km) per un factor unitari d'emissió mitjà de l'element contaminant en el parc de vehicles (g/km).

Els factors d'emissió o de consum depenen bàsicament de la tipologia de vehicle (motor, cubicatge, tipus de combustible), condicions atmosfèriques (motor fred o calent), pes i dimensions del vehicle, la velocitat de desplaçament (European Environment Agency, 2007a) i l'estil de conducció. Els menors factors de consum (i per generalització, els menors factors d'emissió d'aquells gasos que són proporcionals al consum de carburant com el CO_2) es donen entre 70-90 km/h. Tanmateix, els factors d'emissió o partícules que no presenten relació amb el consum (NO_x , PM_{10}) mostren un comportament hetero-

geni a diferents velocitats, tal i com es reflecteix en la figura 2.

De manera general, es pot actuar sobre qual-sevol dels dos factors a fi de reduir el consum energètic o les emissions. Des de fa dècades, els fabricants de vehicles han liderat un procés industrial de reducció dels factors d'emissió i de consum, basats en una progressiva millora de l'eficiència del vehicle, actuant sobre el procés de combustió dels motors, el disseny aerodinàmic i la reducció de la tara dels vehicles. Tot i així, l'evolució dels motors de combustió ha anat dirigida a reduir les emissions contaminants més perjudicials per a la salut, és a dir, l'emissió de partícules en suspensió i els òxids de nitrogen. De forma paral·lela a l'increment de la renda en els països desenvolupats, els conductors han demanat vehicles de major cilindrada i millors prestacions. Aquest fet ha comportat que en molts casos el factor de consum dels vehicles no hagi patit reduccions significatives, o que fins i

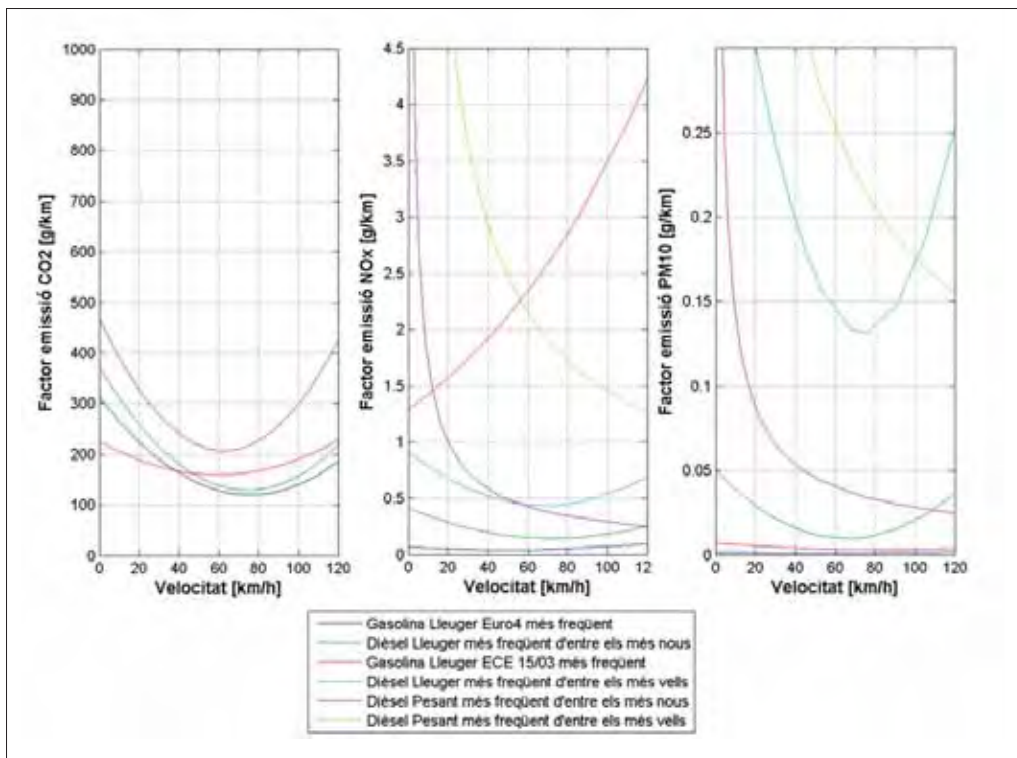


Figura 2. Factors d'emissió de CO_2 , NO_x i PM_{10} en funció de la velocitat per a diferents tipus de vehicles.
Font: CENIT, 2009a.

tot hagi augmentat en l'evolució de vehicles PRE-ECE 15-01 (anterior a l'any 1978) cap a vehicles EURO-V (fabricats a partir de 2010). En conseqüència, els gasos contaminants amb una producció proporcional al consum del vehicle (CO_2 , SO_2) també han seguit aquest procés de creixement. Aquest fet constitueix una de les principals ambigüitats de la innovació tecnològica dels vehicles de combustió de productes derivats del petroli.

Per una altra banda, l'evolució del quilòmetratge realitzat pel parc mòbil en tots els països desenvolupats ha seguit un procés de creixement des de fa tres dècades. L'evolució creixent de la mobilitat (increment del nombre de viatges, viatges més llargs, *commuting*, producció de béns de consum *just in time*, estoc 0, etc.) i la bonança econòmica fins a l'any 2008 han determinat un increment sostingut de la mobilitat (en passatgers-km, vehicles-km o tones-km), tot i que en els últims anys ha estat menys notable o s'ha estabilitzat.

En aquest sentit, les millores aportades en els factors d'emissió i consum han resultat parcials per combatre l'increment de la mobilitat i, en conseqüència, el canvi climàtic originat pel sector del transport. És per aquesta raó que calen mesures actives que incideixin en reduir o acotar els veh/km amb clars efectes socials, urbanístics i econòmics. Un pla d'acció pel control dels vehicles-km hauria de passar teòricament per reduir el nombre de vehicles fomentant l'increment d'ocupació o el canvi modal a modes més sostenibles, potenciant polítiques «de proximitat» o

actuant sobre el model productiu de béns de consum reduint la freqüència d'enviaments a costa de disposar de més estocs.

Encara que en la darrera dècada s'han realitzat considerables esforços per millorar la sostenibilitat del sistema de transport mitjançant el desenvolupament d'infraestructures i serveis de transport més sostenibles, encara persisteixen necessitats en infraestructures per reduir l'efecte sobre el canvi climàtic. Sectorialment, les principals deficiències es deriven de l'acumulació i interrelació de nombrosos conflictes entre els quals cal destacar:

- Fort increment de la demanda (passatgers i mercaderies) en el transport per carretera, que ha provocat situacions de congestió.
- Desequilibri modal com a conseqüència d'un llarg procés de transferència modal, que ha donat lloc a un gran predomini del transport per carretera.
- Carències estructurals de la xarxa i oferta reduïda de serveis ferroviaris, que han provocat la baixa demanda d'aquest mitjà.
- Nous requeriments de qualitat i seguretat de les infraestructures que obliguen a elevar i homogeneïtzar els paràmetres de disseny, fent una atenció especial al manteniment de les xarxes.
- Dèbil integració intermodal entre els diversos mitjans de transport.
- Increment del nombre i la distància dels desplaçaments motoritzats en les àrees metropolitanes, derivats de les darreres tendències

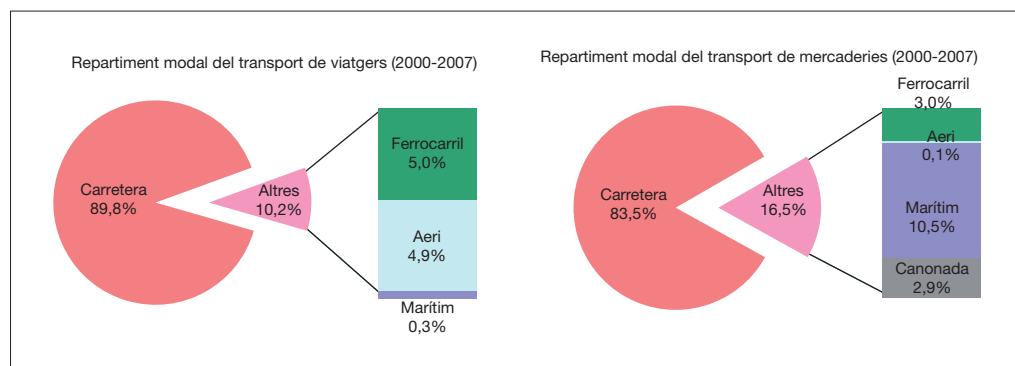


Figura 3. Repartiment modal del sector dels transport a Espanya.
Font: MFOM, 2008.

urbanístiques i de la disponibilitat de sòl industrial.

- Important creixement dels costos externs sobretot a les ciutats (gasos amb efecte d'hivernacle i deteriorament de la qualitat de l'aire), dels accidents, del soroll, dels efectes sobre la salut de les persones i del temps perdut en retencions.
- Poca valoració econòmica i poca internalització de les externalitats negatives de l'ús del vehicle privat.

Si s'analitzen les tendències de la mobilitat determinades en el *Plan Estratégico de Infraestructuras y de Transportes*, PEIT (escenaris 2005-2020), es planteja la necessitat que el transport urbà sigui el de major taxa de creixement i de guanyar quota a la mobilitat interurbana. En aquest context, tant el transport per ferrocarril com el transport interurbà col·lectiu podran presentar un increment del repartiment modal associat a grans inversions per al seu desenvolupament. Respecte el transport interurbà de mercaderies, es destaca l'objectiu d'un canvi modal important a favor del ferrocarril (objectiu d'increment de 5,5 punts el 2020) en detriment del transport per carretera.

23.1.2. Iniciatives de regulació dels sectors productors d'emissions

La primera conscienciació mundial sobre les influències de l'activitat humana (i en particular el transport) sobre el clima es va produir en la Conferència Mundial del Medi Ambient Humà (Estocolm, 1972). Posteriorment, el 1992 la Cimera de Rio determina l'impuls definitiu a la necessitat d'abordar aquest problema global. Es defineix i s'obre a la signatura el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, que es concreta en el Protocol de Kyoto (1997) com a instrument per establir compromisos per a la reducció d'emissions. La Unió Europea (UE) el signa l'any 1998 i inicia un procés de lideratge polític i legislatiu en aquest àmbit que encara manté avui. L'any 2002, la UE ratifica el Protocol de Kyoto.

El moment amb més interès des del punt de vista de regulació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle es va produir el 2005, quan entrà en funcionament el mercat de drets

d'emissió europeu, i es va aprovar la Directiva 2003/87/CE. Aquesta directiva estableix un règim per al comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a la Unió Europea i persegueix l'objectiu d'ajudar a complir les obligacions derivades del Conveni marc de Nacions Unides sobre el canvi climàtic i del Protocol de Kyoto en el marc europeu. Permet que dins els inventaris d'emissions es pugui diferenciar per primera vegada aquelles que provenen dels sectors sotmesos a la Directiva de comerç de drets d'emissió, de la resta d'emissions (anomenades dels 'sectors difusos' com és el cas del sector del transport). En aquest sentit, la Directiva fa la distinció entre sectors sotmesos a la Directiva (sectors industrials de combustió, generació elèctrica, acer, ceràmica, calçat, ciment, paper, refineries de petroli i vidre) i sectors difusos (es generen a la resta de fonts emissores i s'estructuren en plantes de combustió de potència inferior a 20 MW, extracció i distribució de combustibles, ús de dissolvents, transport, residus, agricultura i altres fonts).

A Catalunya, el CADS (Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible) edita el primer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya l'any 2005, i s'establí que el DMAH seria l'òrgan de verificació de les emissions de les empreses que participen al mercat d'emissions (sectors no difusos). Es creà SENDECO2, una plataforma de compravenda d'emissions de referència per als països mediterranis amb seu a Barcelona.

D'aquesta manera, la Directiva 2003/87/CE no identifica el transport com a sector participi en el mercat de compravenda d'emissions tot i ser un dels elements amb un pes més significatiu en el canvi climàtic. Això no obstant, les diferents administracions locals, regionals, nacionals i europees han desenvolupat en els darrers anys un conjunt d'eines reguladores per mitigar el canvi climàtic derivat de la mobilitat de les persones i mercaderies. S'han desenvolupat normatives o plans específics que tenen per objecte garantir la sostenibilitat del medi, potenciar l'ús de sistemes de transport de major eficiència, i l'aplicació de mesures de millora sobre l'oferta de les infraestructures i serveis de transport per part dels organismes amb competència sobre la seva gestió.

En l'àmbit català, el 2003 s'aprovà la Llei de mobilitat (Llei 9/2003), els principis de la qual deixen clar el seu caràcter de respecte al medi ambient i de garantia de la sostenibilitat del sistema de transport. L'entrada en vigor d'aquesta llei ha elevat els estàndards normatius de planificació sostenible de les infraestructures i dels serveis de transport per mitjà d'unes directrius nacionals de mobilitat, tot determinant un conjunt de nous actors (Consell Nacional de la Mobilitat, etc.) per al correcte seguiment i avaluació de les iniciatives a seguir. La Llei de mobilitat ha estat pionera i ha esdevingut un clar referent a nivell europeu.

L'any 2007, Espanya presentà el segon *Plan nacional de asignaciones* i la *Estrategia española de cambio climático y energía limpia* (Ministerio de Medio Ambiente, 2007), orientats a fer front a la reducció d'emissions en els sectors difusos (aquells no sotmesos a la Directiva 2003/87/CE de comerç de drets d'emissions). A Catalunya, el *Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012* és el primer que d'una manera coordinada i integrada tracta el canvi climàtic dins el conjunt de l'acció de govern de la Generalitat de Catalunya amb l'objectiu de reduir 5,33 milions de tones de CO₂ eq. dels sectors difusos: agrari, construcció i ús d'habitatges, sector serveis, indústria no sotmesa a la directiva, prevenció i tractament de residus i el sector del transport i mobilitat. Les potencialitats de mitigar el canvi climàtic originat pel transport a Catalunya ocupen un sector destacat, proposant-se mesures de millora del sistema i avaluant-ne quantitativament els seus efectes ambientals (reducció de tones de CO₂ eq.). Les mesures d'acció que es plantegen es resumeixen en: diversificació energètica del sector i millora energètica del parc de vehicles (cursos de conducció eficient subvenció compra de vehicles «nets»), potenciació de la mobilitat sostenible i transport públic (carrils exclusius per a vehicles d'alta ocupació, foment del ferrocarril i millora de les prestacions i competitivitat del transport públic).

En la mateixa línia, el Ministeri de Foment aprovà el 2008 l'*Estrategia española de movilidad sostenible* on es fa una diagnosi específica del sistema de transport a Espanya i es plantegen mesures i iniciatives per reduir el consum i les

emissions associades al sector. Les mesures plantejades són més extenses en nombre que les del Pla marc de mitigació del canvi climàtic de la Generalitat de Catalunya, però molt més generals i indefinides en la seva aplicació al territori. En aquest sentit, no hi ha una quantificació de les reduccions d'emissió de CO₂ assolibles amb cada mesura plantejada. Aquestes mesures d'acció es poden classificar en: territori, planificació del transport i de les seves infraestructures (potenciació de l'urbanisme de proximitat, vinculació de la planificació urbanística amb el transport públic, plataformes logístiques, millora de la xarxa ferroviària, desenvolupament de plans de mobilitat, plataformes reservades per al transport públic, servei de rodalies ferroviàries, gestió de la velocitat, etc.), canvi climàtic i reducció de la dependència energètica (priorització del transport públic, vehicles nets i eficients, potenciació dels biocarburants en vehicle privat i autobusos), mesures de millora de la qualitat de l'aire i del soroll (àrees de limitació de velocitat per a vehicles i de limitació del soroll), seguretat i salut i gestió de la demanda (aparcaments dissuasoris per al vehicle privat, incentius econòmics per al transport públic, incentius fiscals per comportaments sostenibles, etc.).

La comunitat internacional i la UE han estat treballant per fixar el 2008 nous compromisos de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per al període 2013-2020 en sectors industrials i domèstics. La darrera Conferència de les Parts del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic (COP 13) va establir el full de ruta de Bali, on tots els signants del conveni, inclosos els EUA, es comprometien a establir abans de l'any 2009 compromisos de reducció per al període 2013-2020.

Per la seva banda, en l'àmbit local la Federació Espanyola de Municipis i Províncies (FEMP) i el Ministeri de Medi Ambient van signar el 3 de Novembre de 2004 un Acord Marc de Col·laboració per desenvolupar la *Red Española de Ciudades por el Clima*. Els municipis participants adoptaren el Programa 21 i els compromisos «d'Aalborg +10». L'any 2009, un conjunt de més de 70 ciutats espanyoles i 20 catalanes van signar en el Parlament Europeu el desenvolupament de diverses mesures d'actuació i compromisos

de la reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el compliment del Protocol de Kyoto.

23.1.3. Objectius de la reducció d'emissions dels sectors difusos a Espanya i Catalunya

Els increments percentuals actuals de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte a l'any 1990 (agregats per sectors) han augmentat a un ritme molt superior als compromisos adquirits per l'Estat espanyol amb la Unió Europea respecte al compliment de Kyoto. En primera instància aquests compromisos s'establien en no superar el 15% de les emissions de l'any base.

Posteriorment, el 20 de juliol de 2007 el Govern d'Espanya va informar sobre l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta (Horizonte 2007-2012-2020). Aquesta estratègia defineix el marc d'actuació que han d'abordar les administracions públiques a Espanya per assegurar el compliment per part del nostre país de les seves obligacions en el Protocol de Kyoto. En particular, els llindars màxims dels increments d'emissions de GEH es van ampliar a un valor realista no superior a +37% en el quinquenni 2008-2012 respecte a l'any base (1990).

La situació actual i les projeccions de l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic situen l'increment, sense mesures addicionals sobre les emissions, en un 50% respecte a l'any base. El Govern espanyol ha posat en marxa importants iniciatives encaminades a l'estalvi d'energia, a l'increment de l'eficiència energètica i al foment de les energies renovables que contribueixen al compliment dels nostres compromisos en matèria d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

En matèria de transport, la implantació del Pla Estratègic d'Infraestructures i Transports, 2005-2020, estima una reducció de 30 milions de tones de CO₂ l'any 2020 mitjançant el desenvolupament d'actuacions en infraestructura i serveis (Ministerio de Fomento 2004, 2005). No obstant, això no és suficient per al compliment del que estableix el Pla nacional d'assignació de drets d'emissió 2008-2012 (increment màxim del 37%). Aquest objectiu implica l'establiment de mesures addicionals a les ja previstes que aconseguixin reduccions anuals de 27,1 milions de tones de CO₂ equivalents.

En l'àmbit català, el Govern de Catalunya té un gran espai competencial per treballar en mesures de lluita contra el canvi climàtic en la mobilitat, els residus, l'agricultura, el sector residencial, el comercial, la construcció o la indústria i el sector de transformació de l'energia. El Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012 centra les seves mesures en aquests sectors difusos. Cal fer notar que l'objectiu de reduir el creixement de les emissions dels sectors difusos a Catalunya al 37%, incorpora la compra del 20% de drets d'emissió que fa l'Estat espanyol per compensar l'excés d'emissions difuses de tot l'Estat, tal i com especifica el Pla Nacional d'Assignacions 2008-2012 espanyol, aprovat per la Comissió Europea.

Situació actual. Les darreres dades dels inventaris oficials disponibles de l'any 2005 mostren que les emissions dels sectors difusos a Catalunya van ser de 39,19 Mt. Per tant, a Catalunya, l'escrèix d'emissió dels sectors difusos l'any 2005 per assolir l'objectiu de no superar el 37% d'increment en relació amb l'any base és de 2,64 Mt.

Estimació de l'escenari de compliment del Protocol de Kyoto a Catalunya. Les emissions dels sectors difusos a Catalunya dels anys 1990 a 2005 han tingut una taxa de creixement, calculat de manera lineal, del 3,12% anual sobre la base de l'any 1990. En els últims anys s'han anat incorporant noves polítiques i mesures en l'àrea de la mitigació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, i s'han iniciat canvis de comportament en la societat més favorables a la incorporació d'hàbits que afavoreixen fer front al canvi climàtic.

L'Oficina Catalana del Canvi Climàtic ha establert una hipòtesi de creixement potencial de les emissions en els sectors difusos en els pròxims anys (2008-2012) d'un 2%, prenent com a base l'any 1990. Aquesta previsió ha tingut en compte les consideracions del Pla nacional d'assignació 2008-2012 d'àmbit estatal, aprovat per la Comissió Europea el passat febrer de 2007. Aquesta reducció de la taxa de creixement no és suficient per assolir els compromisos de reducció d'emissions dins del Protocol de Kyoto (tal i com vam denunciar explícitament al 1r Informe sobre el canvi

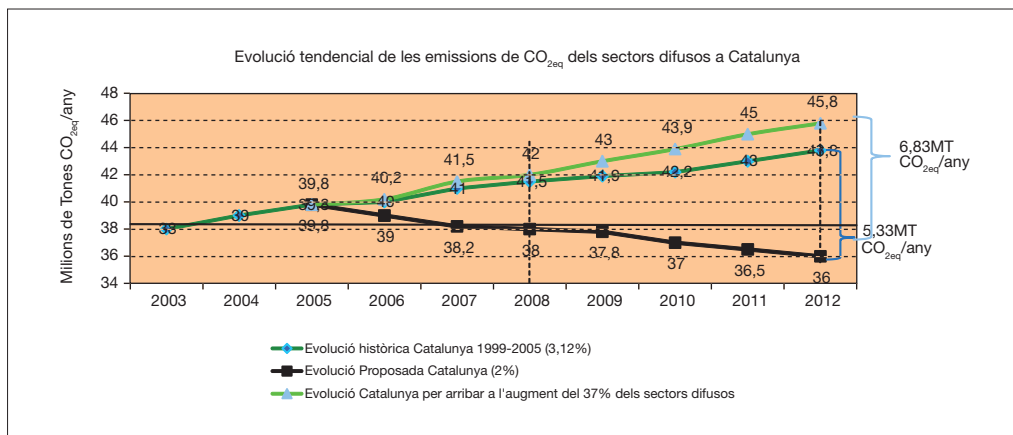


Figura 4. Objectius de reducció d'emissions del pla de mitigació del canvi climàtic a Catalunya.

Font: Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2008.

climàtic a Catalunya, Robusté i Casas, 2005). L'Oficina Catalana del Canvi Climàtic planteja un escenari inicial de reducció amb una estimació de 5,33 Mt de CO₂ eq. de mitjana anual durant el període de compliment del Protocol de Kyoto (2008-2012). Aquesta estimació té en compte com a any base de càlcul les dades de 2005, que són les primeres dades verificades i oficials a escala europea que permeten definir clarament les emissions difuses.

23.2 El transport a Catalunya

Catalunya no ha estat aliena a les tendències espanyoles i europees d'augment de la mobilitat, del consum energètic i de la producció d'emissions contaminants del sector del transport que s'han descrit. Tanmateix, la realitat del transport a Catalunya presenta uns efectes heterogenis sobre el medi ambient segons el context espacial d'anàlisi i el mitjà de transport que s'utilitzi.

Segons l'enquesta EMQ06 (Enquesta de Mobilitat Quotidiana 2006, Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona, 2007) els residents a Catalunya amb una edat igual o superior a 4 anys (excloent-ne els professionals de mobilitat) van realitzar un total de 147,9 milions de desplaçaments setmanals, que corresponen a 23,1 milions de desplaçaments en dia feiner i 16,2 milions de desplaçament en dissabte o festiu. Aquestes dades són equivalents a una producció mitjana de 3,38 desplaçaments per

persona en dia feiner i 2,37 desplaçaments per persona en dissabte o festiu.

En l'àmbit català, el 71,3% dels desplaçaments en dia feiner es realitzen dins un mateix municipi, fet pel qual la competitivitat del transport públic i modes no motoritzats és més alta per la curta distància del recorregut. No obstant això, en dissabte o festiu el percentatge de desplaçaments intramunicipals es redueix al 64,2% a causa de la mobilitat no obligada (desplaçaments de lleure, a segones residències, turisme, etc.). La distribució dels desplaçaments per zones geogràfiques d'anàlisi constata una relació directa entre la concentració de població resident i la productivitat de viatges.

Tot i així, més del 65% de la població resident està concentrada en la Regió Metropolitana de Barcelona, que representa únicament el 10% de la superfície total del territori. Aquest fet produeix una alta heterogeneïtat en la densitat d'habitants en el territori català i conseqüentment una diferència significativa de les potencialitats del transport públic d'àmbit local en les diferents zones del territori. En aquest sentit, com que el transport públic té associat un llindar mínim de demanda per ser rendible socialment i una accessibilitat limitada, únicament es podran desenvolupar sistemes de transport massius (d'alt cost d'inversió) en zones o corredors densament poblats. En la resta del territori, la dotació de transport públic per a la cobertura intermunicipal

Zona	Desplaçaments setmanals dia feiner		Població		Superfície		Densitat habitants
	Valor (en milions)	Percentatge	Valor (residents)	Percentatge	Valor (km²)	Percentatge	Valor (hab/km²)
Regió Metropolitana de Barcelona	101,2	68,5%	4.635.422	67,9%	3.241,5	10,1%	1.430,0
Comarques gironines	13,1	8,9%	643.966	9,4%	5.584,2	17,4%	115,3
Camp de Tarragona	11,9	8,1%	527.531	7,7%	2.999	9,3%	175,9
Terres de l'Ebre	3,7	2,5%	171.248	2,5%	3.308,8	10,3%	51,8
Comarques Centrals	9,4	6,4%	459.943	6,7%	5.611,6	17,5%	82,0
Ponent	6,8	4,6%	323.323	4,7%	5.585,9	17,4%	57,9
Alt Pirineu	1,6	1,1%	69.325	1,0%	5.775,5	18,5%	12,0
	147,7	100%	6.830.758	100,0%	32.107	100%	

Taula 1. Desplaçaments setmanals, població i superfície per regions territorials segons dades de l'EMQ06.

o intercomarcal es reduirà a línies de transport públic de baixa freqüència o a serveis de transport a la demanda (taxis individuals o compartits). Aquesta característica de l'oferta determina molt especialment el repartiment modal i l'ús dels mitjans de transport en cada zona territorial de Catalunya.

En tot el territori s'aprecia una clara hegemonia del transport per carretera en desplaçaments interurbans en detriment d'altres modes, com correspon a un territori petit i gairebé metropolititzat però amb un únic centre de serveis diferencial. En tots els desplaçaments de connexió entre municipis (representen aproximadament un 30% de la mobilitat total) la quota d'ús del vehicle privat supera el 75% en dia feiner, i és superior en dia festiu o dissabte. L'ocupació mitjana del vehicle privat és d'1,22 en dia feiner i d'1,42 en dissabte o dia festiu, fet que reflecteix la baixa possibilitat de conciliació de desplaçaments en uns mateixos períodes horaris. No

obstant això, en desplaçaments intramunicipals els modes de transport prevalents són els no motoritzats, és a dir, la mobilitat a peu o en bicicleta. En aquest sentit, el 45,1% dels desplaçaments en dia feiner en tot el territori català es va realitzar en mitjans no motoritzats, el 40,6% en vehicle privat i el restant 14,3% en transport públic. Tanmateix, si s'analitza la mobilitat en dia festiu, el repartiment modal del vehicle privat puja de manera rellevant, ja que representa gairebé la meitat del total de desplaçaments.

L'ús dels diferents modes de transport a les diferents àrees geogràfiques d'estudi és relativament similar, a diferència de la Regió Metropolitana de Barcelona (taula 2). En aquesta última regió, la utilització del vehicle privat en els desplaçaments es redueix en favor d'un augment de la quota de mercat del transport públic.

La mobilitat no motoritzada ja presenta un pes notable en la totalitat de desplaçaments a causa de la flexibilitat i competitivitat del mitjà

Zona	No motoritzat	Vehicle privat	Transport públic
Regió Metropolitana de Barcelona	45,5	35,9	18,6
Comarques gironines	40,1	55,2	4,7
Camp de Tarragona	44,9	48,9	6,2
Terres de l'Ebre	42,6	54,6	2,8
Comarques centrals	39,7	54,8	5,5
Ponent	45,5	48,6	5,9
Alt Pirineu	46,3	50,1	3,6
Catalunya	45,1	40,6	14,3

Taula 2. Repartiment modal segons regions territorials a Catalunya segons dades de l'EMQ06.

de transport *caminar* en viatges de curta distància. Les potencialitats de millora se centren especialment en l'increment de l'ús de la bicicleta, que necessitarà una adaptació de l'espai urbà i una infraestructura per a la circulació d'aquests vehicles. D'aquesta manera, la mitigació del canvi climàtic associat al transport ha d'anar de la mà especialment de polítiques que redueixin o estabilitzin en primer lloc la utilització del vehicle privat a favor del transport públic, que incrementin l'ocupació del parc mòbil o desenvolupant vehicles utilitaris propulsats amb energies no contaminants. Els diferents plans i instruments com el Pla Director de la RMB de Barcelona aposten pel transport públic i mitjans no motoritzats com a úniques eines de resposta al creixement de la mobilitat futura.

El parc mòbil català es va incrementar en 1.000.000 vehicles entre el 2000 i el 2008, i arriba actualment a superar els 5 milions de vehicles considerant turismes, motos, camions/furgonetes autobusos i tractors industrials. Aquest valor correspon per a l'any 2008 a una taxa de motorització de 680 vehicles per miler d'habitants¹. La mitjana d'edat del parc és de 7,5 anys (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2009a).

En la xarxa de carreteres del territori català es va enregistrar durant l'any 2007 un total de 38.191 milions de veh/km, el 47,4% dels quals es concentraven en la xarxa propietat de la Generalitat de Catalunya, el 45,2% en la xarxa de l'estat, i la resta en la xarxa de les diputacions provincials. Pel que fa a les mercaderies, durant l'any 2007 el transport de mercaderies va mobilitzar 495.115.264 tones amb origen o destinació a Catalunya amb tots els modes de transport. El 80,36% de les mercaderies (en pes) es mobilitza per carretera mentre que només un 1,8% és absorbit pel ferrocarril i un 17,82% pel transport marítim. La quota de mercat del transport aeri és pràcticament testimonial amb un 0,02% (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2009b).

A l'espera del tractament de dades de trànsit i de mercaderies del 2008 per a tot Catalunya, les

primeres estadístiques de què es disposa demostren que la crisi econòmica actual ha fet baixar la mobilitat. En particular, les tones de mercaderia transportada amb origen o destinació a Catalunya l'any 2008 ja demostren una caiguda del 8,6% en relació amb el 2007, i se situen en el mateix escenari que l'any 2004.

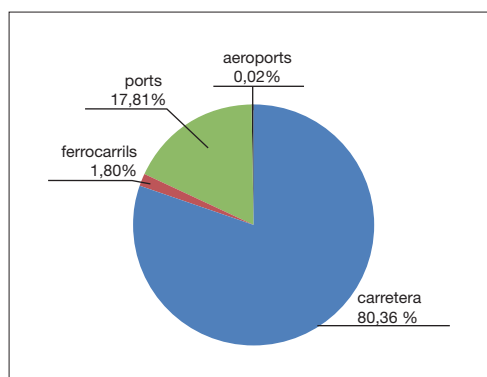


Figura 5. Repartiment modal del transport de mercaderies a Catalunya.

Font: Elaboració pròpia a partir de Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2009b.

23.2.1. Metodologia per al càlcul d'emissions i consums del sector carretera

L'avaluació de les emissions i consums que corresponen al transport per carretera a Catalunya es realitza per a cada tipus de combustible utilitzat pel parc mòbil català (dièsel, benzina, GLP, híbrids). També es realitza una quantificació independent per als elements d'emissió contaminants següents: per una banda, els òxids de nitrogen (NOx), el monòxid de carboni (CO), els compostos orgànics volàtils (COV), el diòxid de sofre (SO₂) i les partícules sòlides en suspensió (PST) que constitueixen els principals contaminants d'efecte local, i per tant, els principals responsables de la contaminació atmosfèrica a les ciutats; i el diòxid de carboni (CO₂), el metà (CH₄) i l'òxid nitrós (N₂O) per ser els principals responsables de l'efecte d'hivernacle, i tenen per tant una repercussió global arreu del planeta.

Per al càlcul del consum específic i dels factors d'emissió existeixen diferents models, però el més usual és el càlcul mitjançant les corbes velocitat-consum i velocitat-factors d'emissió que es recullen en el projecte MEET (*Methodology for*

1. Sovint es fa servir la motorització com a variable proxy per representar la renda. Tot amb tot, motoritzacions superiors a 500 vehicles/1.000 habitants no generen una mobilitat proporcional a la magnitud que expressa la motorització.

calculating transport emissions and energy consumption) de la Unió Europea obtingudes a partir de dades de cicles de conducció real. Aquestes funcions permeten conèixer el consum unitari i els factors d'emissió de cada tipus de vehicle donada la velocitat mitjana, i coneguda la distribució de vehicles es poden calcular el consum i les emissions específics per tipologies. Posteriorment, el grup de treball CORINAIR (*CORe Inventory of AIR emissions*, European Environment Agency, 2007a) ha actualitzat els inventaris d'emissions dels vehicles i ha desenvolupat un programa informàtic, el COPERT. Després de la versió original COPERT 85 (1989), el mateix grup proposa la revisió de la metodologia i el resultat va ser el programa COPERT 90 (1993) i les posteriors versions COPERT 2 (1997), COPERT III (2000). Actualment es disposa de la versió 4, corresponent al 2007 (European Environment Agency, 2007b). Tan sols s'hi identifiquen dues àrees on el càlcul a partir de la velocitat mitjana no és recomanable: l'estimació d'emissions a microescala i la valoració de mesures de trànsit com una reducció de la velocitat o de la capacitat; en aquests casos l'efecte de la seva variació és menys important que el d'altres aspectes del comportament de conducció (*driving behavior*) i es recomanen mètodes de càlcul més sofisticats.

23.2.2. Classificació del tipus de vehicles

Per a la caracterització del parc de vehicles es defineixen set tipologies de vehicle a partir de: tipus d'energia, transport públic o privat, categoria de vehicle privat, i tipus de carburant (taula 3). Per a les tres tipologies de vehicle pri-

vat, es distingiran a més de per al càlcul del consum i les emissions de gasos, classificacions dels vehicles en funció de l'edat i la cilindrada en el cas dels cotxes, característiques del motor i cilindrada en les motos, i pes en les furgonetes i camions.

En particular, el repartiment dels vehicles a Catalunya segons la tipologia de vehicle és explicat en la taula 4.

En els cotxes de gasolina (tipologia 1) s'estableixen 6 franges d'edat, des dels anteriors a 1978 fins als del període 2005-2010, i per a cada franja d'edat tres grups segons la cilindrada: fins a 1.399 cc, entre 1.400 i 1.999 cc i més de 2.000 cc. En els cotxes dièsel (tipologia 2) tan sols es diferencia, a efectes de consum, entre vehicles de fins el 1992 i vehicles que compleixen la Directiva 91/441/EEC.

En la distribució per edats dels vehicles és important distingir entre vehicles preEURO, anteriors a 1992 i classificats segons normativa d'homologació vigent l'any de fabricació (ECE), i vehicles EURO, posteriors a 1992 i sota l'àmbit legislatiu de les Directives comunitàries sobre control d'emissions: Dir. 91/441/EEC (EURO I, 1/7/1992) i Dir. 94/12/EEC (EURO II, 1/1/1996), la Dir. 98/69/EEC (EURO III 1/1/2001 i EURO IV 1/1/2006).

La classificació dels cotxes de benzina i dièsel queda resumida respectivament a les taules 5 i 6, igual que els seus factors de consum. La distribució per edats s'ha obtingut a partir de les dades del cens de parc mòbil català, dades de la DGT (Dirección General de Tráfico) i del Servei Català de Trànsit. D'aquesta manera, l'estimació del

Transport	Derivats del petroli	Combustibles líquids	Vehicle privat	Cotxes	Gasolina	Tipologia 1
					Gasoil	Tipologia 2
				Motos		Tipologia 3
				Furgonetes i camions	Gasolina	Tipologia 4
					Gasoil	Tipologia 5
		Gasos líquids del petroli (glp)	Transport públic	Autobusos		Tipologia 6
			Taxis de glp		Tipologia 7	

Taula 3. Tipologies de vehicles.

	Catalunya					
	Turismes	Motos	Camions i furgonetes	Tractors industrials	Autobusos i altres	Total
1995	2.409.653	366.438	522.718	12.239	53.086	3.364.134
2000	2.850.226	408.060	640.358	20.183	78.594	3.997.421
2005	3.180.916	486.345	748.346	27.101	130.009	4.572.717
2008	3.370.338	623.903	821.311	29.715	159.612	5.004.879

Taula 4. Classificació del parc mòbil a Catalunya.

Font: Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2009a.

consum energètic i d'emissions s'ha realitzat de manera proporcional al percentatge del parc de vehicles censats. Aquesta avaluació podria ser millorada amb l'estimació real del parc automobilístic circulant a partir d'aforaments manuals generalitzats a la xarxa viària de les diferents zones geogràfiques de Catalunya, ja que els vehicles més nous solen realitzar més quilòmetratge que els més antics. La conversió del carburant de grams a litres es realitza mitjançant una densitat de la benzina igual a 750 kg/m^3 i per al dièsel 840 kg/m^3 . Els factors de consum s'han calculat mitjançant la metodologia CORINAIR i el programa informàtic COPERT IV.

Per classificar les **motos** es fa una primera distinció entre les de menys de 50 cc (ciclomotors) i les de més de 50 cc, i d'aquestes últimes tractem per separat les de motor de 2 temps i les de motor de 4 temps (taula 7). La classificació de furgonetes i camions depèn del tipus de combustible i del seu pes. Es distingeix entre vehicles de gasolina i de gasoil, tipologies 4 i 5, i després entre tres rangs de pes: menys de 3,5 tones, entre 3,5 i 16 tones i més de 16 tones. Els camions de més de 3,5 tones són tots de gasoil, o el que és el mateix, les furgonetes i camions de gasolina són tots de menys de 3,5 tones (taula 8).

Els factors unitaris d'emissions utilitzats també s'han calculat a partir de la metodologia CORINAIR i COPERT IV. Aquests factors d'emissions tenen una formulació específica per a cada gas o partícules. Per una banda, les emissions de SO_2 i CO_2 depenen del consum unitari, les emissions de NO_x , CO , VOC i PM no depenen del consum però presenten gran variació segons el rang de velocitats. Finalment, els gasos N_2O , NH_3 i part de les partícules presenten uns

factores d'emissió gairebé uniformes per a tot el rang de velocitats.

23.2.3 Consum i emissions del transport per carretera a Catalunya

Per a l'avaluació del consum i les emissions causats pel transport de passatgers i mercaderies per carretera s'ha considerat la xarxa urbana i interurbana definida en el model de simulació de Catalunya (SIMCAT) recollida a la figura 6. Per a cada arc de la xarxa, se saben la velocitat mitjana de circulació i les intensitats mitjanes diàries de vehicles que hi circulen.

Els quilòmetres recorreguts en la xarxa urbana i interurbana d'anàlisi per a tot el parc mòbil suma més de 103 milions de veh/km en un dia mitjà, amb un repartiment entre tipus de vehicles definit en la taula 9 i una ocupació agregada del parc mòbil circulant d'1,28 persones/vehicle (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2008). Si s'agreguen en tot l'any 2005, el transport a Catalunya en la xarxa vial urbana i interurbana (inclosos vehicles de mercaderies i autobusos) era responsable d'un total de 37.640 milions de veh/km.

Considerant aquestes dades mitjanes sobre producció de viatges i quilòmetratge diàries i els factors unitaris de consum i emissions per tipologia de vehicles, es poden quantificar el consum i les emissions totals associats al transport per carretera a Catalunya segons la taula 10. Es pot comprovar que la necessitat de carburant per garantir la mobilitat dels vehicles considerats puja fins els 3.173 milions de litres (dièsel i benzina), i que la producció de gasos amb efecte d'hivernacle és d'11,3 milions de tones de CO_2 , 327 tones de N_2O i 1.300 tones de CH_4 .

	Edat	Total agrupació	Cilindrada		Consum	
				Velocitat	Consum de combustible g/km	Consum grup g/km
COTXES GASOLINA	Pre ECE Ece 15-00/01 (valors 00/01) anterior a 1978	4%	fins a 1.399 cc.	10-60	37,633	0,836
				60-130	44,120	
			de 1.400 a 1.999 cc	10-60	42,013	0,904
				60-130	53,320	
			més de 2.000 cc.	10-60	43,457	0,186
				60-130	59,320	
	ECE 15-02 1981-1985	3%	fins a 1.399 cc.	10-50	34,407	0,649
				50-130	45,640	
			de 1.400 a 1.999 cc	10-50	37,477	0,668
				50-130	52,504	
			més de 2.000 cc.	10-50	44,570	0,150
				50-130	63,880	
	ECE 15-03 1981-1985	4%	fins a 1.399 cc.	10-50	34,407	0,804
				50-130	45,640	
			de 1.400 a 1.999 cc	10-50	37,477	0,828
				50-130	52,504	
			més de 2.000 cc.	10-50	44,570	0,186
				50-130	63,880	
	ECE 15-04 1986-1992	14%	fins a 1.399 cc.	10-25	34,782	2,954
				25-130	43,500	
			de 1.400 a 1.999 cc	10-60	32,597	2,942
				60-130	48,420	
			més de 2.000 cc.	10-60	44,876	0,693
				60-130	61,700	
	EURO I (93-95)	8%	fins a 1.399 cc.	10-130	42,523	1,613
			de 1.400 a 1.999 cc	10-130	48,304	1,640
			més de 2.000 cc.	10-130	61,281	0,384
	EURO II (96-00)	24%	fins a 1.399 cc.	10-130	38,843	4,608
			de 1.400 a 1.999 cc	10-130	47,311	5,023
			més de 2.000 cc.	10-130	64,879	1,273
	EURO III (01-04)	24%	fins a 1.399 cc.	10-130	42,554	4,985
			de 1.400 a 1.999 cc	10-130	49,953	5,327
			més de 2.000 cc.	10-130	56,221	1,089
	EURO IV (05-10)	19%	fins a 1.399 cc.	10-130	44,871	4,172
			de 1.400 a 1.999 cc	10-130	52,877	4,400
			més de 2.000 cc.	10-130	65,850	1,012

Taula 5. Distribució de cotxes gasolina i factors de consums a una velocitat mitjana de 80 km/h.

Font: Estrada i Tomàs, 2009.

COTXES DIESEL	Edat	Total agrupació	Cilindrada		Consum	
				Velocitat	Consum de combustible g/km	Consum grup g/km
	Pre ECE ECE 15-00/01 valors 00/01) anteriors a 1978	3,90%	fins a 1.999 cc.	10-130	41,369	1,485
			més de 2.000 cc.	10-130	41,369	0,130
	ECE15-02 1979-1980 1979-1908	2,93%	fins a 1.999 cc.	10-130	41,369	1,114
			més de 2.000 cc.	10-130	41,369	0,097
	ECE 15,03 1981-1985	3,63%	fins a 1.999 cc.	10-130	41,369	1,381
			més de 2.000 cc.	10-130	41,369	0,121
	ECE 15-04 1986-1992	13,99%	fins a 1.999 cc.	10-130	41,369	5,322
			més de 2.000 cc.	10-130	41,369	0,464
EURO I	7,81%	fins a 1.999 cc.	10-130	43,76	3,145	
		més de 2.000 cc.	10-130	59,19	0,371	
EURO II	24,44%	fins a 1.999 cc.	10-130	44,69	10,047	
		més de 2.000 cc.	10-130	59,19	1,161	
EURO III 2001-04	24,14%	fins a 1.999 cc.	10-130	43,33	9,618	
		més de 2.000 cc.	10-130	59,19	1,147	
EURO IV 2005-10	19,16%	fins a 1.999 cc.	10-130	43,33	7,634	
		més de 2.000 cc.	10-130	59,19	0,910	

Taula 6. Distribució de cotxes dièsel i factors de consums a una velocitat mitjana de 80 km/h.
Font: Estrada i Tomàs, 2009.

MOTOS	Total agrupació	Edat	Classificació	Rang de velocitats	Consum de combustible g/km	Consum grup g/km
	39%	Abans 2000	< 50 c.c.	urbana	18	3,28
		Després 2000		urbana	10,5	2,19
	40%	Abans 2000	< 50 c.c. 2 temps	10-60	30	6,48
				60-110		
		Després 2000		10-60	18,78	3,48
					60-110	
	21%	Abans 2000	< 50 c.c. 4 temps	10-60	36	4,18
				60-110		
		Després 2000		10-60	34,58	3,35
					60-110	

Taula 7. Distribució del parc de motos i factors de consums per a una velocitat mitjana 80 km/h.
Font: Estrada i Tomàs, 2009.

23.2.4. Consum i emissions del transport en zona urbana. Cas de Barcelona

A Barcelona es realitzen diàriament uns 6 milions de desplaçaments segons dades del 2008, 4,3 milions dels quals corresponen a desplaça-

ments interns i 1,7 milions a desplaçaments interns-externs. Una part important dels primers, un 33%, es realitzen en transport públic, més de la meitat, un 51,5%, a peu i amb bici, i tan sols un 16%, en vehicle privat. Els desplaça-

CAMIONS I FURGONETES		Classificació	Edat		Rang velocitats		Consum		
						Tipus de circulació	Consum g/km		Consum l/100km
	Gasolina (15,5%)	Peso total < 3,5 t	Abans de 2000	Conventional Euro I	10-110 10-120	Urbana	56,5 66,5	61,5	8,19
	Diesel (84,5%)	Peso total < 3,5 t	Abans de 2000	Conventional Euro I	10-110 10-120	Urbana	72,1 63,7	67,9	8,08
			Després 2000			Urbana	97,5	97,5	11,61
		3,5 t < Peso total < 16 t		–		Urbana	225,0	225,0	26,79
		Peso total > 16 t		–		Urbana	366,0	366,0	43,57

Taula 8. Distribució del parc de furgonetes i camions i factors de consums a una velocitat mitjana 80 km/h.
Font: Estrada i Tomàs, 2009.

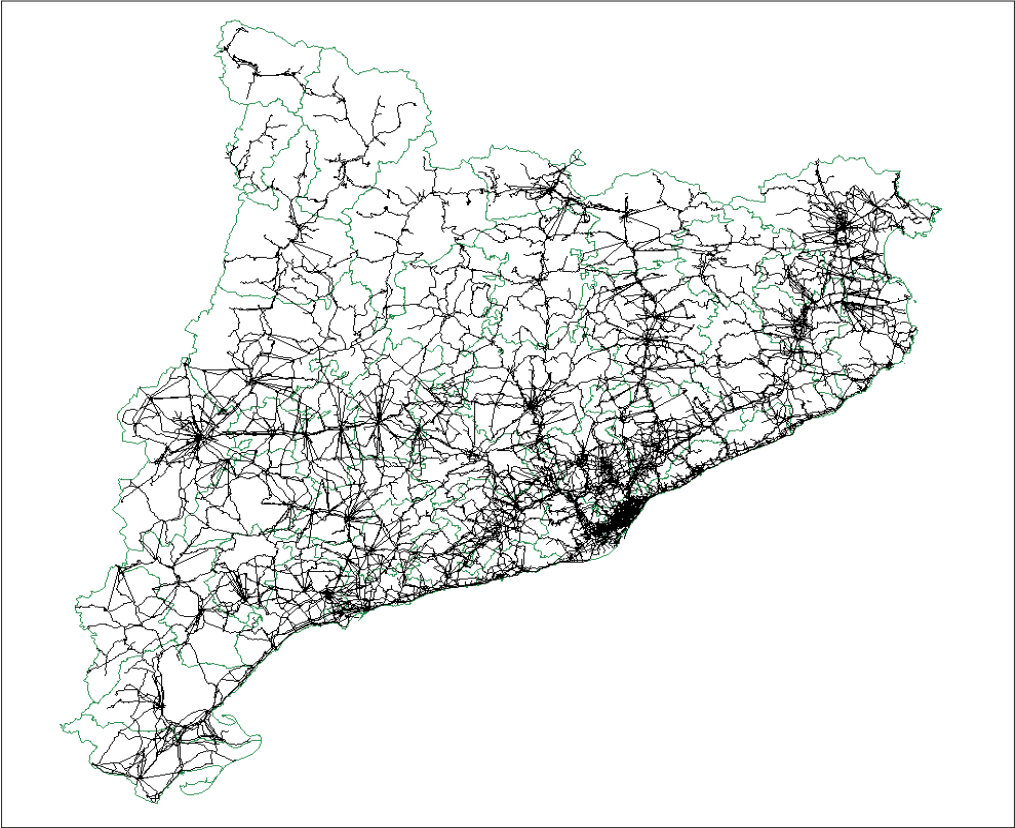


Figura 6. Xarxa de carreteres i vies urbanes de Catalunya l'any 2005.
Font: Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2009a.

ments intermunicipals representen tan sols una tercera part del total, però en canvi, més de la meitat dels que circulen per Barcelona entren i surten de la ciutat un dia laborable. La taula 11

resumeix les característiques dels desplaçaments a Barcelona en dia laborable a partir de dades de la Direcció de Serveis de Mobilitat de l'Ajuntament de Barcelona.

Vehicle privat

El parc de vehicles de Barcelona l'any 2007 comptava amb 595.523 cotxes, a més del parc de motos i ciclomotors (276.595 vehicles) i de furgonetes i camions (71.401 vehicles). El nombre de desplaçaments en cotxe planteja una situació de congestió en bona part de les principals vies de circulació de la ciutat, i especialment

	Veh-km/dia	Percentatge
Veh. gasolina	40.001.496	39 %
Veh. dièsel	29.441.678	29 %
Camions gasolina	2.619.330	3 %
Camions dièsel	14.303.190	14 %
Motos	12.859.465	12 %
Busos	3.289.631	3 %
GLP	608.427	1 %
Total	103.123.217	100 %

Taula 9. Repartiment dels vehicles-quilòmetre per tipus de vehicle.
Font: basat en Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2009a.

als accessos, que pateixen els desplaçaments interns-externs i on els cotxes són majoria. Els volums de trànsit (figura 7) representa la distribució de la IML (intensitat mitjana en dia laborable de trànsit) amb gruixos proporcionals als fluxos. Un dia feiner es recorren un total de 13,2 milions de quilòmetres a Barcelona, que equivalen a 3.744 milions de veh/km l'any. L'ocupació del parc mòbil circulant per a l'any 2007 ha estat d'1,18 persones/vehicle, una dècima per sota del valor agregat per a tot Catalunya (Ajuntament de Barcelona, 2007).

Les rondes suporten el 20% del volum de trànsit de la ciutat, mentre que la resta de la ciutat absorbeix el 80%. No obstant això, les rondes i les vies de connectivitat externa representen només un 2% i un 3% respectivament dels 1.281 quilòmetres de la xarxa viària de Barcelona; la xarxa principal interna un 21%, i la xarxa local un 74%. A les rondes la velocitat mitjana de l'any 2008 va ser de 56,3 km/h, molt similar als 60 km/h que es prenen com a representatius per a la caracterització del comportament de la conducció

	Total vehicle privat (VP)		Consum total transport públic (TP)	Consum total diari VP+TP	Consum total anual VP+TP
	Turismes	Resta vehicles			
Consum (litres)	3.743.843	2.509.999	2.440.551	8.694.394	3.173.453.679
Emissions (kg)					
NOx	53.074	49.587	40.801	143.463	52.363.976
CO	141.803	186.803	27.846	356.452	130.104.874
VOC	13.720	40.259	15.375	69.353	25.313.986
SO ₂	1.238	1.191	1.204	3.633	1.326.094
PM	3.484	2.924	3.947	10.355	3.779.594
NH ₃	1.637	59	34	1.731	631.715
N ₂ O	474	318	105	897	327.360
CH ₄	967	2.526	67	3.560	1.299.265
CO ₂	14.714.600	7.905.796	8.330.560	30.950.956	11.297.098.884

Taula 10. Consum i emissions del transport per carretera a Catalunya.

Desplaçaments	Interns	Interns-externs	Total
Transport públic	1.428.856	822.984	2.251.840
Vehicle privat	691.993	789.780	1.481.773
A peu i en bicicleta	2.253.024	50.346	2.303.370
Total	4.373.873	1.663.110	6.036.983

Taula 11. Nombre i distribució modal dels desplaçaments a Barcelona.

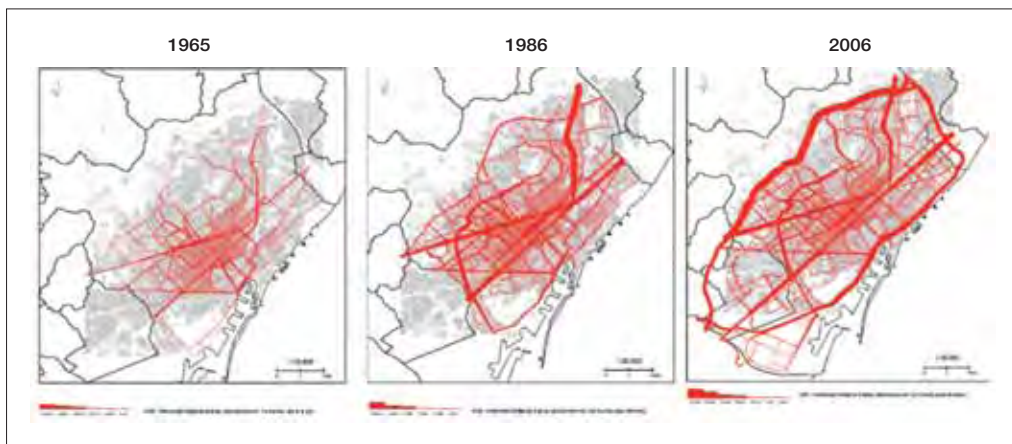


Figura 7. Evolució de l'aranya de trànsit a Barcelona.

Font: Ajuntament de Barcelona (2009)

en carretera a Espanya, mentre que a la resta de la ciutat va ser de 21,3 km/h, també molt similar als 20 km/h que es prenen com a representatius de la conducció urbana.

A partir dels volums de trànsit per tipus de via i tipologia de vehicle, els consums unitaris i els factors d'emissió també per tipus de via i tipologia de vehicle, s'obtenen els consums globals definits a la taula 12. A la taula 13 es valoren les emissions per tipologia de combustible.

Transport públic

Barcelona i la seva àrea d'influència compten amb servei d'autobusos, metro, ferrocarrils, tren de rodalia, tramvia i taxis. La taula 14 resumeix l'oferta dels principals operadors de transport públic col·lectiu: TMB (autobús i metro), FGC

(Ferrocarrils de la Generalitat), Tramvia (ATM) i RENFE rodalia.

Els viatges en metro són el 48% dels realitzats en transport públic col·lectiu, i els d'autobús el 25%; TMB és l'operador més important de Barcelona i la seva àrea metropolitana ja que trasllada el 73% del passatge del transport públic. El transport públic individual, el taxi, compta amb una flota de 10.483 vehicles que es manté més o menys constant, a més de 174 parades i 107 milions de passatgers per any. Cal destacar també la millora del servei del bus nocturn amb un increment de passatgers des del 2005 del 42,4% (5,9 milions de passatgers) i un augment de la flota de vehicles del 62, 5% (fins a 130). El consum de carburant i les emissions contaminants de tots els vehicles de transport públic amb fonts d'energia derivades del petroli són agregats en la taula 12.

	Consum a les rondes	Consum a la resta de la ciutat	Consum a Barcelona
Cotxes de gasolina	19.421.876	94.714.880	114.136.756
Motos	1.887.745	28.766.241	30.653.976
Furgonetes i camions de gasolina	2.472.460	12.262.439	14.734.899
Total gasolina	23.782.071	135.743.560	159.525.631
Cotxes dièsel	12.145.696	57.000.849	69.146.545
Furgonetes i camions dièsel	14.919.755	69.043.826	83.963.582
Total gasoil	27.065.451	126.044.676	153.110.127

Taula 12. Consums globals de vehicle privat (en litres) per tipus de vies i tipologies de vehicles a Barcelona.

Font: elaboració pròpia.

	Emissions gasolina	Emissions gasoil	Emissions totals
NOx	930.080	2.737.049	3.667.129
CO	13.096.721	1.634.849	14.731.570
VOC	3.589.458	738.605	4.328.063
SO ₂	78.371	178.210	256.581
Partícules	35.527	65.146	100.673
NH ₃	51.532	2.009	53.541
N ₂ O	12.144	15.295	27.439
CH ₄	219.824	8.199	228.023
CO ₂	418.337.449	429.173.849	847.511.298

Taula 13. Emissions globals del vehicle privat (en kg) per tipus de combustible a Barcelona.

Transport públic	Long. línies (km)	Línies	Viatgers (milions)	Δ 08/07 (%)
TMB (metro)	88,4	6	376,4	2,7%
TMB (autobús)	915,2	108	194,9	-7,4%
FGC	143,3	4	81	2,5%
RENFE (rodalia)	529,6	6	114,4	-2,3%
Tramvia	29,1	6	23,2	11,1%

Taula 14. Dades bàsiques dels principals operadors de transport públic col·lectiu.

Font: ATM (2009)

Transport públic de tracció elèctrica

A partir de les dades proporcionades pels operadors (TMB, FGC i RENFE) es pot estimar el consum a l'àrea metropolitana, i les emissions associades on es produeix la utilització del transport són nul·les. També hi ha la possibilitat de conèixer el consum a la ciutat a partir de les dades que proporcionen les companyies elèctriques (FECSA, ENHER i Hidroelèctrica de Catalunya) i que recull l'Anuari Estadístic de Barcelona.

Metro

El consum de tracció del metro el 2008 (TMB, 2008) va ser de 198.064.000 kWh, un 8,64% més que el 2006, a causa del major nombre de cotxes-km recorreguts (vegeu la taula 15). No obstant això,

aquest augment del consum d'energia ha estat inferior al creixement de l'oferta, del 9,7%, gràcies a la reducció del consum unitari dels trens. En aquest sentit, en el darrer any el consum mitjà de la flota ha estat de 241,6 kWh/100 cotxes-km enfront dels 246,1 kWh/100 cotxes-km de l'any 2007, la qual cosa representa un descens de l'1,8%.

Ferrocarrils de la Generalitat

El consum total de tracció i subministrament elèctric a les estacions dels FGC el 2008 va ser de 90.530 milers de kWh (taula 16).

La xarxa principal està formada pel servei urbà de la línia Barcelona-Vallès, el servei suburbà de la línia Barcelona-Vallès (metro del Vallès), el servei suburbà de la línia Llobregat-Anoia (metro del

	2006	2008	Diferència 06/08	Percentatge 06/08
Tracció	182.310	198.064	15.753	8,64%
Força i enllumenat	67.353	71.637	4.284	6,36%
Total	249.663	269.700	20.037	8,03%

Taula 15. Consum d'energia del metro (en milers de kWh).

Font: TMB (2009).

	2003	2008	Diferència	Percentatge
Tracció	80.204	90.530	10.326	12,87%
Enllumenat	1.247	1.112	-135	-10,83%
Total	81.451	91.642	10.191	12,51%

Taula 16. Consum d'energia dels FGC (en milers de kWh).
Font: Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (2009).

Baix Llobregat) i el servei de rodalia de la línia del Baix Llobregat. Suposant que el consum és proporcional al quilometratge, s'estima que les línies de l'aglomeració central de Barcelona consumeixen un 65,5% de l'energia elèctrica, 60.026 kWh. Una altra alternativa és suposar que el consum específic dels vehicles dels FGC es pot aproximar pel del metro, que és conegut, i amb el quilometratge calcular el consum total. El 2008 es van recórrer 32,74 milions de quilòmetres a l'aglomeració central de Barcelona, i per tant es pot estimar un consum de tracció de 31.166.400 kWh, molt per sota dels 194.246.400 kWh del metro, que va recórrer 80,4 milions de quilòmetres.

Tramvia metropolitana

El tramvia ha realitzat el 2008 un total de 2,5 milions de quilòmetres, 1,4 dels quals corresponen al Trambaix i la resta al Trambesòs. Si actuem de forma similar al metro i als FGC, obtenim un consum elèctric (aproximat) de tracció de 6.040.000 kWh.

RENFE (rodalia)

Segons dades proporcionades per la Direcció de Serveis de Mobilitat a l'aglomeració central de Barcelona, els trens de rodalia van recórrer 17,02 milions de quilòmetres, i per tant es pot estimar un consum de tracció de 41.120.320 kWh.

Resultats de consum elèctric

La taula 17 resumeix el consum de tracció elèctrica del transport a l'Àrea Metropolitana de Barcelona el 2008.

FMB (metro)	194.246.400
FGC	31.166.400
RENFE (rodalia)	41.120.320
Tramvia	6.040.000
Total	272.573.120

Taula 17. Consum d'electricitat del transport a l'AMB en kWh.

Per estimar el consum a l'àrea de Barcelona es pot suposar que l'energia consumida és la de dues tercers parts de la de l'AMB. Així, ens queda una energia de consum total de 181.715.413 kWh.

Taxis de gasos líquuats de petroli (GLP)

El consum de GLP, és a dir de butà i propà, el proporciona l'empresa Repsol-Butano S.A., i com el consum elèctric de la ciutat també es recull a l'anuari estadístic de Barcelona. Es disposa de l'evolució del consum durant el període 2003-2007, que és el que mostra la taula 18.

Any	Consum (en tones)
2003	718
2004	54
2005	55
2006	181
2007	172

Taula 18. Consum de GLP pel transport a Barcelona.
Font: http://www.repsol.com/es_ca/

Es pot observar com després d'una gran davallada del GLP en automoció, la creació d'un nou conveni per fomentar-ne l'ús l'ha fet recuperar a petita escala. El consum específic per a cotxes de GLP és de 58,19 g/km (CORINAIR). Els factors d'emissió de CO, NO_x i COV en àmbit urbà són els de la taula 19, i les emissions de CO₂ són de 175 g/km.

Tipus de gas	Factor d'emissió
NO _x	0,100 g/km
CO	1,173 g/km
VOC	0,055 g/km

Taula 19. Factors d'emissió del GLP per vehicles < 2,5 t.
Font: Elaboració pròpia a partir d'European Environment Agency (2007a) considerant v = 21,3 km/h.

Consum i emissions totals del transport a Barcelona

Els resultats del consum total, agrupant els consums del vehicle privat i el transport públic, són els de les taules 20 i 21. La taula 20 mostra els consums d'energia obtinguts per a la ciutat de Barcelona, amb un total de 12.830.476 GJ.

Els combustibles líquids representen el 94,8% del consum del transport a la ciutat de Barcelona, per tan sols un 5,1% de l'electricitat i un 0,1% dels GLP. Entre els combustibles líquids el consum de gasoil (51,6%) supera el de gasolina (43,2%). Si distingim entre vehicle privat i transport públic, a Barcelona el 89,4% del consum correspon al vehicle privat per tan sols un 10,6% del transport (figura 8).

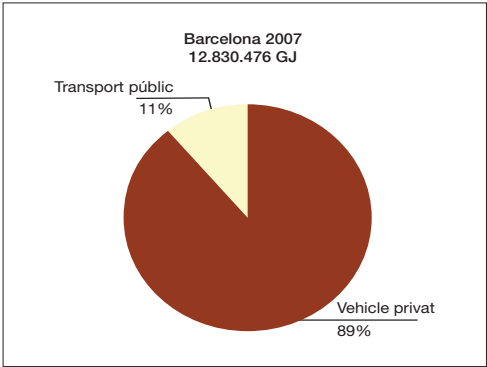


Figura 8. Consum del vehicle privat i el transport públic.

Combustibles líquids	Gasolina	Vehicle privat	159.525.631 (l)	5.548.301 GJ	43,2%	94,8%	89,4%
	Gasoil	Vehicle privat	153.110.127 (l)	5.917.706 GJ	46,1%		
		Transport públic	18.168.392 (l)	702.208 GJ	5,5%		
Electricitat		Transport públic	181.715.413 (kwh)	654.175 GJ	5,1%	5,1%	10,6%
GLP		Transport públic	172.000 (kg)	8.084 GJ	0,1%	0,1%	
Total				12.830.476 GJ	100%	100%	100%

Taula 20. Consum total del transport a Barcelona el 2008

	Emissions (Tn)				
	Vehicle privat			Trans. públic	Totals
	Gasolina	Dièsel	Total	Gasoil	TOTAL
NOx	930	2.737	3.667	776,0	4.443
CO	13.097	1.635	14.732	242,9	14.974
VOC	3.589	739	4.328	75,3	4.403
SO2	78	178	257	24,2	281
PM	36	65	101	11,1	112
NH3	52	2	54	0,1	54
N2O	12	15	27	1,2	29
CH4	220	8	228	0,2	228
CO2	418.337	429.174	847.511	65.849,1	913.360

Taula 21. Emissions totals a Barcelona el 2007 (en tones).

Les emissions totals són les resultants de les emissions globals del vehicle privat i les dels autobusos. Les del consum elèctric són nul·les en l'entorn d'utilització, i les del GLP són menysenibles.

23.3. Polítiques i plans d'acció per a la mitigació dels consums i emissions de contaminants en la mobilitat

Les polítiques actuals de mobilitat han d'incloure els principis de sostenibilitat per tal que l'activi-

tat del transport no acabi perjudicant les generacions futures. Com s'ha comentat, Espanya ha establert un pla per complir el compromís del Protocol de Kyoto que acota el creixement de les emissions en un 37% sobre l'any base. Tanmateix, la situació actual i les projeccions de l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic determinen que sense l'aplicació d'un pla d'acció i un conjunt de mesures de mitigació, les emissions poden arribar a representar un creixement d'un 50% respecte a l'any base (1990). En particular, els sectors difusos arribarien a presentar un creixement del 65% front l'objectiu màxim del 37%. El compliment d'aquest percentatge màxim sobre els sectors difusos a l'àmbit català durant els anys del Protocol de Kyoto (2008-2012) no hauria de ser superior a 36,55 Mt de mitjana anual.

Per a l'acompliment d'aquests objectius, l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic ha definit un escenari inicial de reducció d'emissions de 5,33 Mt de CO₂ eq. de mitjana anual durant el període de compliment del Protocol de Kyoto (2008-2012).

Per fer front als problemes ambientals i de mobilitat associats al creixement del transport, s'ha d'emprendre una gran varietat d'accions com a part d'unes polítiques globals i innovadores. En aquest sentit, la *Estrategia española de movilidad sostenible* (MFOM, 2008) defineix un conjunt de mesures a aplicar que millorin tant l'eficiència energètica dels vehicles com la sostenibilitat dels sistemes de transport de les persones i mercaderies. Així mateix, en l'àmbit català s'ha signat El Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012, que té com objectius el desenvolupament i la coordinació de plans d'acció sectorials que tinguin impacte directe i sinèrgic en la reducció d'emissions. L'objectiu previst de reducció d'emissions amb l'aplicació d'aquestes mesures del Pla de mitigació català és de 9,3 Mt CO₂ eq. per al període 2008-2012 (1,86 Mt CO₂ eq/any).

El camí d'actuació per a una mobilitat sostenible ha d'emmarcar-se en tres components fonamentals de la sostenibilitat:

- Econòmic: donar resposta a les necessitats de mobilitat derivades d'activitats econòmiques i

mantenir un creixement econòmic respectuós amb l'entorn.

- Social: garantir una accessibilitat suficient dels ciutadans als mercats de treball i pols de mobilitat claus (hospitals, educació, mercats, lleure), béns i serveis, afavorint l'equitat social i territorial i els mitjans de transport més saludables.
- Ambiental: contribuir a la protecció del medi ambient i a la salut dels ciutadans reduint els impactes ambientals del transport per mitjà del control de les emissions GEH dels vehicles i optimitzant l'ús dels recursos no renovables.

A partir del *Pla de mitigació del canvi climàtic a Catalunya* i l'*Estrategia española de movilidad sostenible*, el conjunt de mesures per a la millora de la sostenibilitat del sector transports i mobilitat es pot emmarcar en quatre grups fonamentals:

- Mesures sobre el territori, infraestructures i la planificació del transport.
- Mesures de mitigació del canvi climàtic i reducció de la dependència energètica.
- Mesures de la qualitat de l'aire i del soroll.
- Mesures per a la millora de la seguretat i la salut.

A continuació s'analitzaran algunes de les mesures potencials que es poden aplicar al sector de la mobilitat a Catalunya, avaluant-ne (aproximadament) els beneficis i costos de la implantació.

Urbanisme de proximitat i garantia d'accessibilitat en transport públic

Aquestes mesures anirien encaminades a reduir el quilometratge associat a la mobilitat obligada en vehicle privat per mitjà de l'apropament de la residència dels treballadors al seu lloc de treball. Addicionalment, la vinculació de la planificació urbanística amb l'existència d'oferta de transport públic és de vital importància per garantir una bona accessibilitat de la xarxa de transport públic als barris residencials de masses treballadores. La densitat d'habitants per unitat de superfície ha resultat ser una de les variables clau en la viabilitat de dotació d'un transport públic regular en

un territori. La ciutat mediterrània compacta ha permès cobrir un alt percentatge de desplaçaments a peu o amb modes no motoritzats així com un bon desenvolupament d'infraestructures i serveis de transport públic amb una adequada accessibilitat.

Per contra, el model d'urbanisme de ciutat residencial dispersa (model americà) ha conduït a un ús intensiu del vehicle privat i a la concentració exclusiva del transport públic local en els centres econòmics de la ciutat. La materialització de corredors de transport públic de gran capacitat s'ha establert únicament en corredors interurbans de baixa accessibilitat al territori. En aquests casos, l'accés a les estacions de transport públic es realitza majoritàriament en vehicle privat i s'ha associat a la construcció de terminals de *park & ride* de grans dimensions. D'aquesta manera, les xarxes de transport públic presenten una configuració eminentment radial o *de hub-and-spoke* cap al centre de la ciutat. Els viatges amb origen i destinació a la perifèria de la regió difícilment són servits de forma directa amb el transport públic regular, sinó que necessiten d'una o varies transferències en el centre de la ciutat o regió metropolitana, o s'estructuren de forma discrecional o de servei a la demanda (prèvia sol·licitud de servei). El resultat d'aquesta configuració és la limitació de la competitivitat del transport públic i que l'alternativa gairebé exclusiva sigui el vehicle privat.

En els darrers 50 anys, l'extensió de la xarxa viària i l'increment de la motorització de la població han permès la desvinculació entre la residència dels treballadors i el seu lloc de treball. L'increment dels preus del sòl a Catalunya a partir de l'any 1982 va fomentar el creixement de poblacions de la primera i segona corona metropolitana on el preu de l'habitatge era significativament més econòmic que a la ciutat de Barcelona i compensava l'increment dels costos del transport associats a la mobilitat obligada (fenomen *commuting* o mobilitat pendular). Si bé el desenvolupament progressiu de l'oferta de transport entre aquests municipis i el centre de la regió metropolitana ha permès augmentar la quota de transport públic, l'augment de la mobilitat no obligada i de les activitats personals ha originat cadenes de transport cada cop més

difuses que difícilment el transport públic pot cobrir en la seva totalitat. Per altra banda, les empreses de producció també han patit un fenomen de relocalització de les grans ciutats cap a polígons industrials amb més disponibilitat d'espai, una urbanització i serveis particulars adients per a l'ús industrial, i un preu més econòmic. El procés d'expulsió de la gran ciutat va anar acompanyat en un primer moment pel finançament per part de les empreses més importants d'un servei de transport públic entre la nova ubicació i la gran ciutat. No obstant això, al llarg del temps aquest finançament directe de la prestació d'un servei de transport públic ha estat substituït per complements salarials als treballadors, fet que va modificar el repartiment modal a favor del vehicle privat.

Amb tot, les mesures relatives a la promoció de l'urbanisme de proximitat es podrien enfocar i resumir en les línies d'actuació següents:

- Potenciar el desenvolupament d'àrees residencials en zones urbanes amb una densitat mínima d'habitatges, evitant la construcció de barris dispersos.
- Els nous desenvolupaments d'habitatges en zones urbanes hauran d'anar acompanyats d'un servei de transport públic local (com a mínim autobús) amb accessibilitat a parada inferior a 400 metres. Aquest servei local haurà de connectar als usuaris a la xarxa de transport públic d'altres prestacions.
- En àmbit semiurbà, la construcció de nous complexos urbanístics haurà d'anar acompanyada de l'increment de places de *park & ride* en les parades de transport massiu més properes (ferrocarril, tramvia, bus d'altres prestacions).
- Crear incentius a les empreses i treballadors per al foment de la proximitat habitatge-lloc de treball
- En els polígons industrials amb major nombre de treballadors, potenciar línies llançadora d'autobús cap a la/les parada/es principal/s de transport públic massiu.
- En els polígons industrials, crear la figura del gestor de mobilitat que intentarà consensuar polítiques de gestió de la mobilitat ajustades a la realitat del polígon.

Plataformes logístiques i transport de mercaderies eficient energèticament

Les plataformes logístiques són una eina clau per a la potenciació de l'intercanvi modal en el transport de les mercaderies i per al trencament de la cadena de transport vehicles d'economies d'escala grans en altres adients per a la distribució urbana (paper *breakbulk*); també permeten distribuir de molts orígens a moltes destinacions amb menys quilòmetres; en conseqüència, milloren els costos operacionals i els costos externs del sistema del transport.

En les cadenes de transport de llarga distància, la correcta localització de les plataformes

logístiques permet la utilització de modes més eficients (operacionalment i energèticament) en la major part del recorregut de la mercaderia. Els nodes de la xarxa esdevenen punts estratègics de consolidació de la càrrega i de transferència entre les xarxes capil·lars d'accessibilitat als punts de producció i els mercats de consum i les xarxes de llarga distància (figura 9).

En la fase intermèdia de la cadena de transport es poden utilitzar modes que presentin economies d'escala, com el ferrocarril o el marítim, amb un valor del cost operacional i de les externalitats menor en termes de cost per tona-quilòmetre transportada (taula 22 i figura 10).

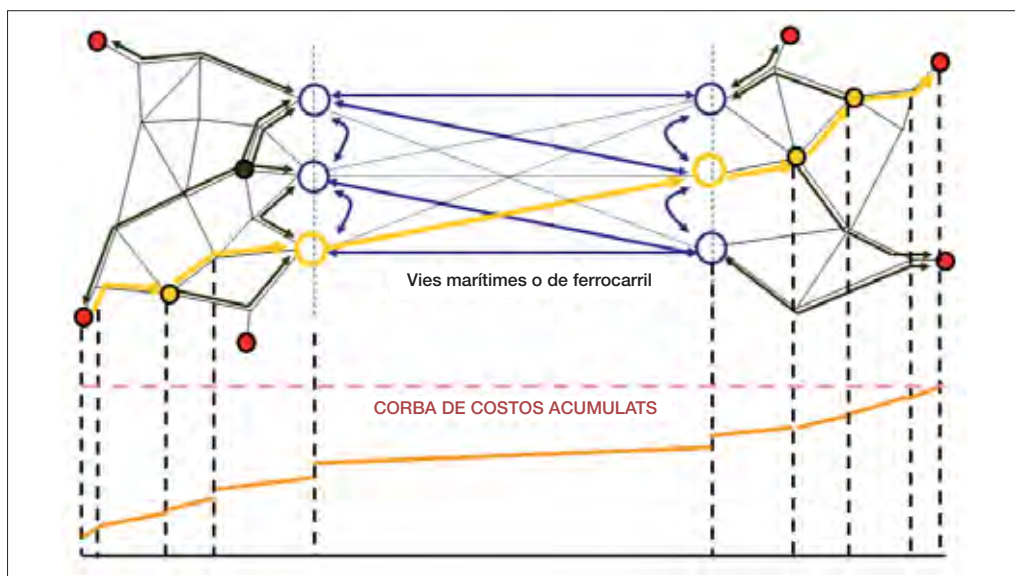


Figura 9. Esquema de les xarxes de distribució de mercaderies.

Font: Estrada, 2008.

Element de transport	Capacitat	Cost (€/veh/km)
Transport en camió	25 t	1,01 ^{*1}
Transport en ferrocarril	800 t	11,65 (tracció elèctrica) 13,97 (tracció dièsel) ^{*2}
Transport marítim	4.000 TEU	60 aprox. ^{*3}

Taula 22. Detall de costos unitaris totals i capacitat dels mitjans de transport de mercaderies

*1. Es considera que el vehicle realitza 115.000 km en 2.250 hores de treball a l'any.

Font: Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2009c, Observatori del transport de mercaderies per carretera a Catalunya.

*2. S'inclouen els cànons d'ús de la infraestructura i terminals de transport.

Font: Rallo, 2008.

*3. Els costos anuals d'un vaixell panamax són de 9.259 milers d'euros. Se suposa que en tot un any el vaixell està en moviment el 60 % del temps, que equival a 157.680 km.

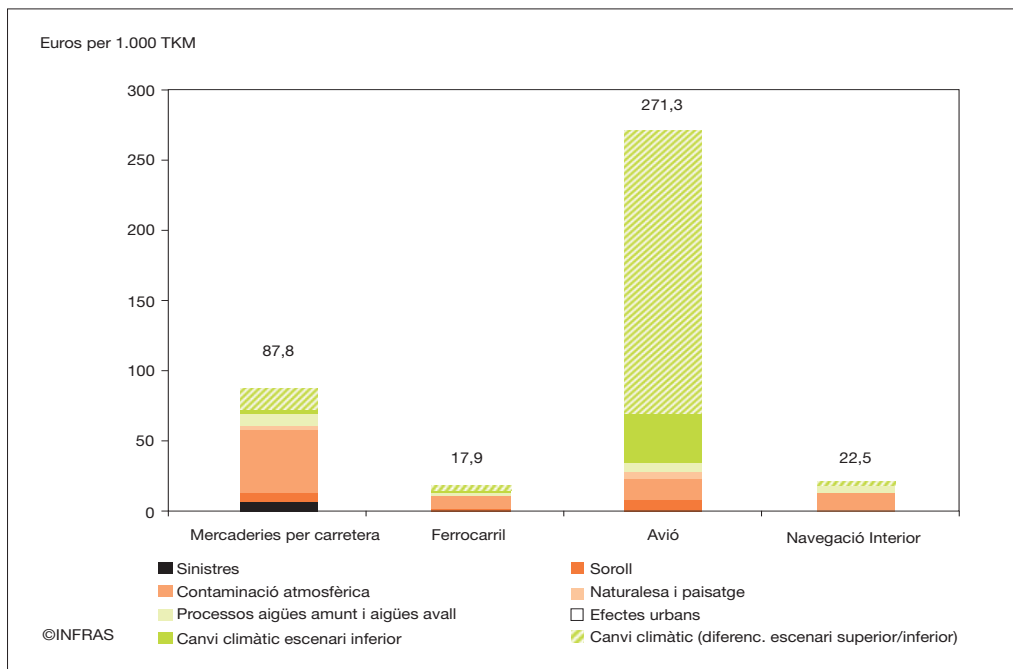


Figura 10. Comparació dels costos externs dels modes de transport de mercaderies el 2000, exclosos els costos de congestió. Font: Infrass, 2004.

En aquest sentit, el desenvolupament de les plataformes logístiques com les terminals portuàries i les terminals ferroviàries ha permès en els darrers anys l'augment del transport marítim de cabotatge (*short sea shipping*, SSS) i el transport per ferrocarril. Segons dades de l'operador Acciona (Acciona, 2007), el transport marítim entre Barcelona-Algesires i Canàries permet eliminar 15.000 camions per any de la xarxa de carreteres estatal, el que representa l'estalvi de més de 15 milions de quilòmetres. Addicionalment, el desenvolupament del ferrocarril entre Madrid-Barcelona, Madrid-València i Algesires-Perpinyà permetria reduir les emissions contaminants de CO₂ en 20.357 tones per any.

Per altra banda, els operadors logístics per carretera també poden contribuir a la reducció del quilometratge de les seves flotes i en conseqüència de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per mitjà de l'optimització de les rutes de llarga distància. En Estrada (2008a) s'avalua el benefici de la implantació d'estratègies que incrementin el factor de càrrega dels camions de llarg recorregut per mitjà d'un model

de distribució en consolidació en terminal (*hub-and-spoke*) o de parades múltiples, i es compara amb el sistema actual d'enviaments directes entre orígens i destinacions.

L'aplicació generalitzada d'aquestes estratègies de gestió d'enviaments permetria reduir els costos d'operació de la principal empresa de paqueteria industrial que opera en el territori espanyol en un 6,8%, fet que suposa eliminar més de 13 vehicles al dia respecte els 256 d'un dia tipus (Estrada, 2008a).

Un altre camp de minimització de les emissions amb efecte d'hivernacle seria actuar incrementant la capacitat dels vehicles de transport de mercaderies per carretera. En els darrers anys s'han construït camions prototip de 25 metres de llarg capaços de transportar 60 tones de mercaderia. S'ha avaluat que aquest nou sistema permetria reduir 2,2 milions de quilòmetres recorreguts en les carreteres europees. Al Regne Unit, s'ha calculat que passar la màxima capacitat de 40 a 44 t per vehicle de transport de càrrega reduiria l'emissió de CO₂ en 170.000 tones per any (McKinnon, 2008).

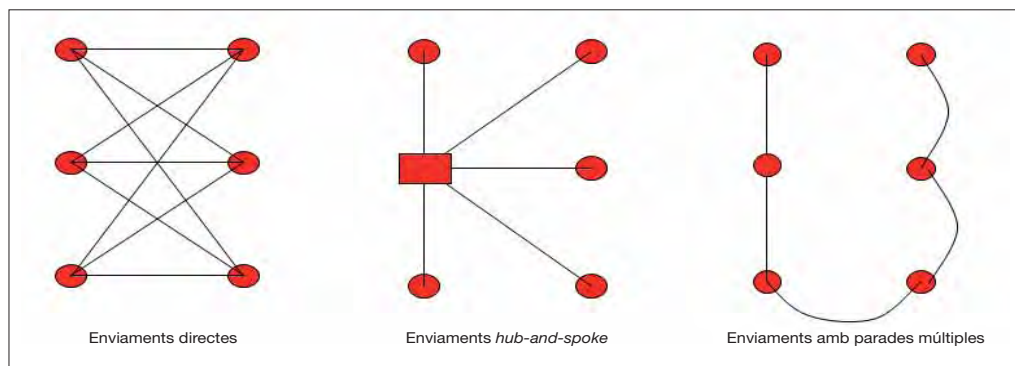


Figura 11. Esquemes de models i estratègies de distribució de mercaderies.
Font: Robusté, 2003.

Finalment, la generalització de les plataformes logístiques també es pot dur a terme a les ciutats amb la construcció de microplataformes de distribució urbana. Aquestes plataformes es construirien a l'interior de les ciutats i permetrien que vehicles de major capacitat realitzessin l'aprovisionament de mercaderia a la plataforma independentment dels horaris de venda dels comerços adjacents. Per tant, l'enviament es podria realitzar fora de les hores de major intensitat de trànsit i fins i tot en període nocturn. Posteriorment, el lliurament final als comerços es podria fer en vehicles de mida reduïda de baix consum, o fins i tot vehicles elèctrics. Els principals beneficis d'aquesta mesura són la utilització de tecnologies de menor cost unitari en l'accés a la ciutat i la millora de la productivitat per la inexistència de congestió durant l'operativa.

En un estudi recent (Solé, 2009), s'han avaluat els beneficis teòrics de la construcció d'una microplataforma en un barri de Barcelona que ges-

tiona uns 190.000 enviaments anuals. L'operativa actual amb furgonetes de 3,5 t té associats uns costos de transport i ambientals de 8,9 milions d'euros anuals. Tanmateix, si es construís una microplataforma de consolidació en la zona central del barri representaria uns costos totals (inclosa la seva construcció) de 2 milions d'euros, amb un estalvi de costos ambientals de 15.000 euros per any.

Les grans superfícies de supermercats a l'interior de les ciutats també poden patir una reducció significativa dels costos operatius i ambientals mitjançant la distribució nocturna amb camions de 25 t. En proves pilot en un supermercat de la ciutat de Barcelona, el temps de transport es redueix en un 90% respecte l'operativa diürna, i la inversió dels vehicles de gran tonatge es recupera abans de 3 anys. L'aplicació a gran escala a una cadena de supermercats amb 82 centres a Barcelona comportaria la reducció de més de 3,5 milions d'euros en costos d'operació i ambientals a l'any (taula 23).

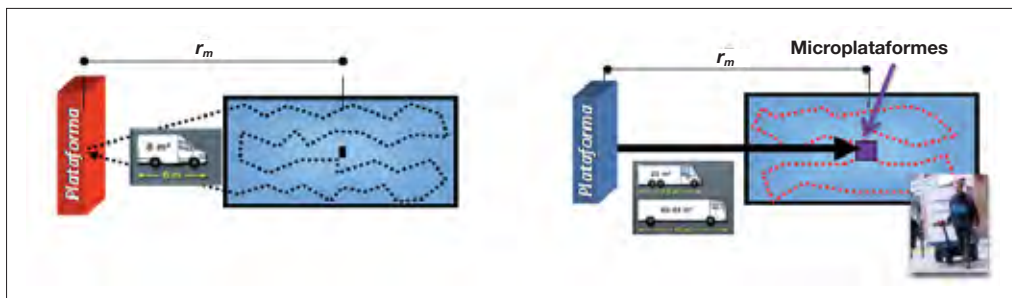


Figura 12. Esquema d'operació de l'explotació de routes amb microplataforma de consolidació i sense.
Font: Estrada, 2008b.

Resum dels costos i estalvis segons l'escenari						
Escenari	Inversió inicial total (€)	Cost diari del transport (€)	Cost diari ambiental (€)	Cost diari total (€)	Estalvi diari total (€)	Estalvi total anual (€)
Diürn 10 palets	–	22.089,94	3.023,64	25.113,58	–	–
Nocturn 10 palets	2.706.000	9.467,93	2.485,39	11.953,32	13.160,26	3.553.270
Nocturn 16 palets	3.696.000	7.511,30	1.709,70	9.221,00	15.892,58	4.290.996
Nocturn 20 palets	4.056.000	8.024,92	1.574,43	9.599,35	15.514,23	4.188.842
Nocturn 32 palets	4.466.000	7.341,95	1.100,32	8.442,26	16.671,31	4.501.253

Taula 23. Resum dels estalvis de costos entre la distribució diürna i nocturna d'una gran cadena de supermercats.

Font: Garrido (2009).

Tanmateix, la distribució nocturna no seria extensible al petit comerç a causa de la necessitat de la presència de personal auxiliar durant el procés de lliurament. El poc volum de lliurament no justificaria l'increment de cost de personal.

Xarxa ferroviària d'altres prestacions i xarxa de rodalia d'àmbit metropolità

L'elasticitat de l'increment de l'augment d'energia en relació amb l'increment de la velocitat màxima associada a un tren d'alta velocitat és inferior a la unitat. Les emissions en propulsió elèctrica d'un tren d'altres prestacions són proporcionals al consum elèctric. Si s'analitza el con-

sum d'energia dels trens i locomotores del parc de RENFE es pot constatar que els serveis d'alta velocitat són els que menys energia consumeixen en termes de kWh/veh/km, suposant una ocupació del 100%.

Segons García-Alvarez (2005), un tren d'alta velocitat model Talgo 350 (sèrie RENFE 102) en el recorregut Lleida-Madrid (474 km) consumeix 7.934 kWh i empra 114 minuts per recórrer el tram a una velocitat de 300 km/h. En un recorregut de la mateixa longitud en el corredor mediterrani, un tren convencional amb locomotora 252 i set cotxes ARCO, a 200 km/h consumeix 9.412 kWh i triga 175 minuts a fer el trajecte.

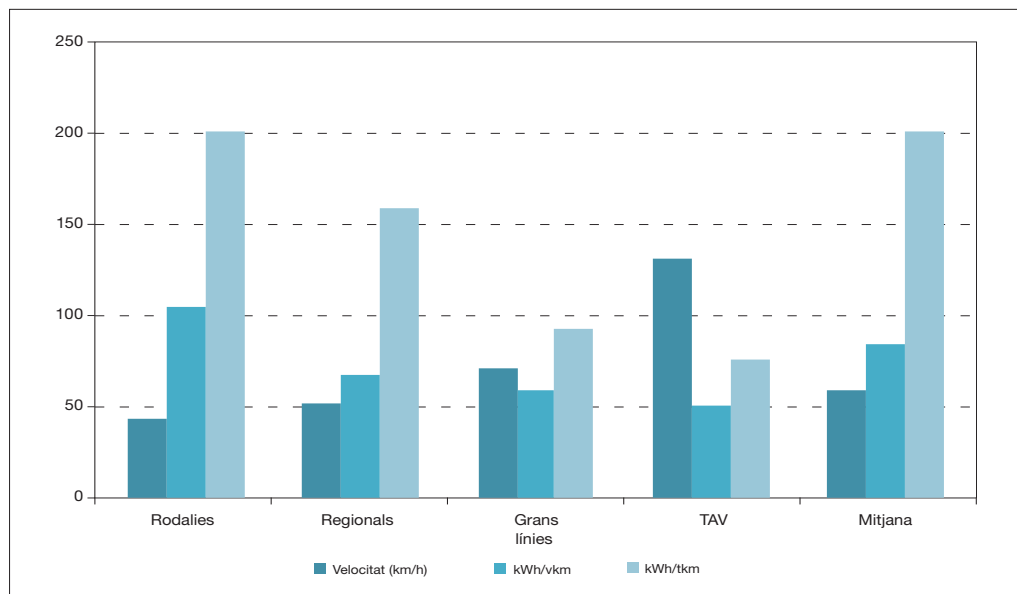


Figura 13. Consum d'energia dels diferents vehicles ferroviaris segons velocitat del servei.

Font: García-Alvarez, 2005.

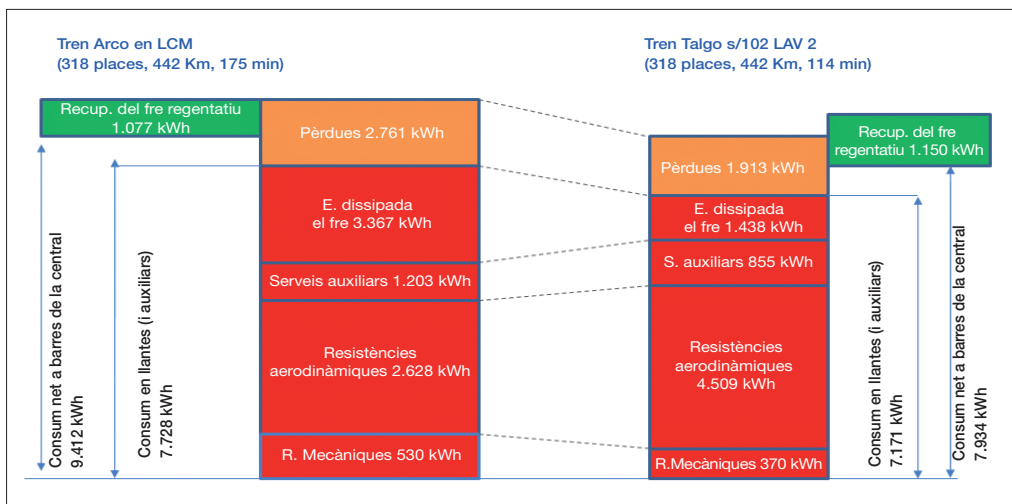


Figura 14. Comparació del consum energètic entre un tren model ARCO i un tren TALGOs/102 LAV2.
Font: Garcia-Alvarez, 2005.

Adicionalment a aquest fet, les línies d'alta velocitat, tot i que impliquen una major inversió per quilòmetre d'infraestructura, tendeixen a radis de curvatura superiors i, en general, a la reducció de la distància d'infraestructura necessària entre els orígens i destinacions del recorregut. En particular, a l'estat espanyol, les línies d'alta velocitat escurcen els trajectes en un 18% de longitud mitjana en relació amb els traçats de les línies convencionals i un 8,6% en relació amb els trajectes per carretera. Aquest fet produeix que el quilometratge de les línies d'alta velocitat sigui més reduït per a un mateix servei. A la vegada, la major tensió d'electrificació de les línies d'alta velocitat (25 kV respecte els 3 kV de les convencionals) causa unes menors pèrdues elèctriques en els processos de transformació i transport de l'energia, fet que resulta en una major eficiència de l'electrificació dels trens d'alta velocitat.

Per una altra banda, l'alta velocitat presenta menors fregaments mecànics, menys massa per plaça ofertada i una millor penetració a l'aire com a conseqüència d'un disseny més aerodinàmic. Aquests fets, conjuntament amb el manteniment d'una velocitat constant durant més temps (major espaiament entre parades), i la capacitat de devolució d'energia a la xarxa durant l'etapa de la frenada són factors que permeten l'estalvi

d'energia dels trens d'alta velocitat tot i incrementar la seva velocitat de circulació.

La menor energia consumida per l'alta velocitat també queda reflectida en el nou servei Barcelona-Madrid inaugurat el 20 de febrer de 2008. Si es considera que la distància ortodròmica entre les dues ciutats és de 486 km, 528 km en avió (més 33 km addicionals per accedir des dels aeroports al centre de les ciutats), 612,5 km en cotxe en vies interurbanes (8,5 km addicionals en tram urbà), 614,5 km en autobús en vies interurbanes (17,5 km addicionals en tram urbà), 707 km en tren convencional (4,5 km addicionals per a accessos a estacions) i de 627,2 km en tren alta velocitat (4,5 km addicionals per a accessos a estacions), es pot calcular comparativament el consum d'energia i la producció d'emissions de CO₂ dels diferents mitjans de transport segons la taula 24.

Els càlculs realitzats en la taula 24 consideren tres hipòtesis sobre l'ocupació valorada segons la variable LF = usuaris-km/places-km. En aquest sentit, s'han valorat les emissions i consum per una ocupació mínima (LF = 0,2), una ocupació real (variable segons el mitjà) i una ocupació màxima. En tots tres casos es pot comprovar que el tren d'alta velocitat presenta els menors consums d'energia i emissions de CO₂, només comparable

Mitjà de transport	Dades generals recorregut					Consum i emissions per passatger					
						LF=0,2		LF mitjà estimat		LF=1	
	Distància (km)	kWh energia primària	Emissions CO ₂ (g)	Places	Ocupació LF (pax-km/plaça-km)	kWh primària energia	Emissions CO ₂ (g)	kWh primària energia	Emissions CO ₂ (g)	kWh primària energia	Emissions CO ₂ (g)
Cotxe	621	424,9	94.577	5	0,3	424,9	94,6	283,3	63,1	85	18,9
Autocar	632	1.889	493.880	56,3	0,61	168	43,9	56	14,5	34	8,8
Avió	561	27.702	8.555.000	170	0,75	840	257,3	234	70,9	168	51,5
Tren Conv.	740,7	9.136	2.398.000	228	0,64	205	53,6	66	17,1	41	10,7
Tren AVE	631,7	12.276	3.222.000	351	0,7	179	46,9	53	13,8	36	9,2

Taula 24. Resum del consum d'energia i emissions de CO₂ en el trajecte Barcelona-Madrid segons mitjà de transport.

Font: Elaboració pròpia a partir de Garcia-Alvarez, 2008.

amb el mitjà de transport autocar per realitzar el recorregut Barcelona-Madrid. En la situació real, el consum d'energia per passatger és de 53 kWh i les emissions de CO₂ són de 13,8 kg per passatger, valors 5 vegades inferiors als associats al cotxe.

Plataformes reservades per al transport públic i vehicles d'alta ocupació (VAO)

El desenvolupament de plataformes reservades per al transport públic és un element clau per garantir un temps de viatge similar al vehicle privat i, conseqüentment, incrementar la competitivitat modal del transport col·lectiu i els vehicles privats amb alta ocupació. L'objectiu és premiar amb una major velocitat comercial aquells vehicles amb més ocupació i que, per tant, presenten un valor més reduït en termes de litres de carburant o emissions per persona-km transportada. Així mateix, aquesta iniciativa té una doble lectura ja que també és una mesura mediam ambiental en evitar la circulació dels vehicles de transport públic en situacions de congestió i eliminar les perniciosos operacions d'engegar i parar (*stop-and-go*).

Si bé aquesta mesura ha estat aplicada en les autopistes d'accés a les grans ciutats dels Estats Units des de fa moltes dècades (San Diego, Los Angeles, San Francisco, etc.), la seva planificació i implantació al territori català només s'ha produït en els darrers anys. Una planificació sobre carrils bus-VAO d'accés a Barcelona i un pla d'aparcaments d'intercanvi *park-and-ride* de l'Entitat Metropolitana del Transport, hereva de l'antiga Corporació Metropolitana de Barcelona, de 1993

i 1990, va ser desestimada en no tenir l'EMT competències en planificació infraestructural. A Madrid, l'única iniciativa de tot l'Estat ha estat el carril bus-VAO de la N-VI, aprofitant una ampliació prevista que volia fer passar d'una secció de 2+2 carrils a una de 5+5; el bus-VAO de la N-VI ha estat un èxit per desenvolupar el corredor d'El Escorial per a *commuters* gràcies a les majors velocitats i regularitat dels autobusos, però ha fracassat en l'augment de l'ocupació dels vehicles VAO. A Barcelona s'han desenvolupat 3 projectes constructius per a la millora del temps de viatge dels vehicles d'alta ocupació en les vies d'entrada a Barcelona, que es detallen a la taula 25; el projecte de la C-58 té la novetat que serà finançat per Tabasa a partir dels excedents del túnel de Vallvidrera.

A tall d'exemple, s'analitzen els beneficis socials i ambientals derivats de la implantació del carril reservat per a BUS-VAO del corredor C-31. Segons GISA (2005), els viatgers de bus i serveis de taxi perdien diàriament abans de l'entrada en servei del carril bus un total de 233 hores, considerant una ocupació mitjana de 30 usuaris per al bus i de 2 clients per als taxis. La projecció d'aquestes demores de trànsit a un horitzó de 30 anys computa un total de 1.087 hores en entrar a Barcelona en cas de no construir-se el carril reservat.

La reducció dels temps de viatge produiria un increment de la demanda diària en l'escenari de posada en servei de 203 passatgers (sobre 6.800 actuals) i de 927 passatgers en un horitzó de 30 anys (sobre 9.545 usuaris sense la construcció de carril segregat). Aquests nous passatgers serien usuaris provinents del vehicle privat i per tant equivaldrien a la reducció d'uns 770 vehi-

Carrils BUS-VAO	Secció transversal	Longitud (km)	Cost total (M€)	Cost unitari (M€/km)
C-58 (des de Ripollet a Barcelona per l'Av. Diagonal)	2 carrils addicionals reversibles segregats en la calçada central)	6,67	57,22	8,78
C-31 (des de Montgat a Barcelona, Pl. Glòries)	1 carril addicional no segregat d'entrada a Barcelona	7,27	8,56	1,18
B-23 (des de Molins de Rei a Barcelona per l'Av. Diagonal)	2 carrils addicionals reversibles segregats en la calçada central)	—	—	—

Taula 25. Característiques de les iniciatives de construcció de plataformes reservades per a vehicles d'alta ocupació en l'entrada a Barcelona.

Font: Canales et al., 2006.

cles d'entrada a Barcelona. La posada en servei d'aquesta infraestructura produiria uns estalvis de costos totals (operatius, estalvis de temps i externs) de 793.000 euros l'any, 82.000 dels quals correspondrien a estalvis ambientals. Per la seva part, en l'escenari amb un horitzó de 30 anys, els estalvis de costos totals serien de 3.638.000 euros (increment de la congestió en escenari sense carril), 375.000 dels quals representarien costos de reducció d'emissions contaminants.

Foment dels serveis d'autobusos urbans

Les prestacions de les xarxes d'autobusos urbans poden veure's beneficiades amb una nova estructura de disseny de línies més eficients i que alhora estigui acompanyada d'elements de prioritat que incrementin la seva velocitat comercial. El fet d'incrementar la velocitat és cabdal no només per fer més atractiu el servei, sinó que redueix el nombre de vehicles necessaris per

efectuar-lo, i per tant es redueixen costos operacionals i ambientals.

Aquesta mesura s'està aplicant per redissenyar la xarxa d'autobusos de TMB cap a una configuració que garanteixi una bona accessibilitat en tot el territori de Barcelona, una velocitat comercial alta (d'uns 15 km/h) i una cobertura temporal suficient, a més d'eliminar la redundància actual de serveis en el centre. La configuració resultant és una xarxa mallada ortogonal amb corredors d'alta freqüència de pas (20 busos/hora punta) en el tram central i bifurcacions en els extrems (amb freqüències inferiors o iguals a la meitat del tram central). L'estructura de la xarxa ortogonal és la mostrada en la figura 15, i s'ha batejat amb el nom de «retibus» (bus en xarxa o retícula). Aquesta xarxa d'altres prestacions funcionaria amb carril bus (sense taxis), amb elements de prioritització de pas en interseccions, i amb la construcció de parades dobles per reduir el temps de circulació dels vehicles.

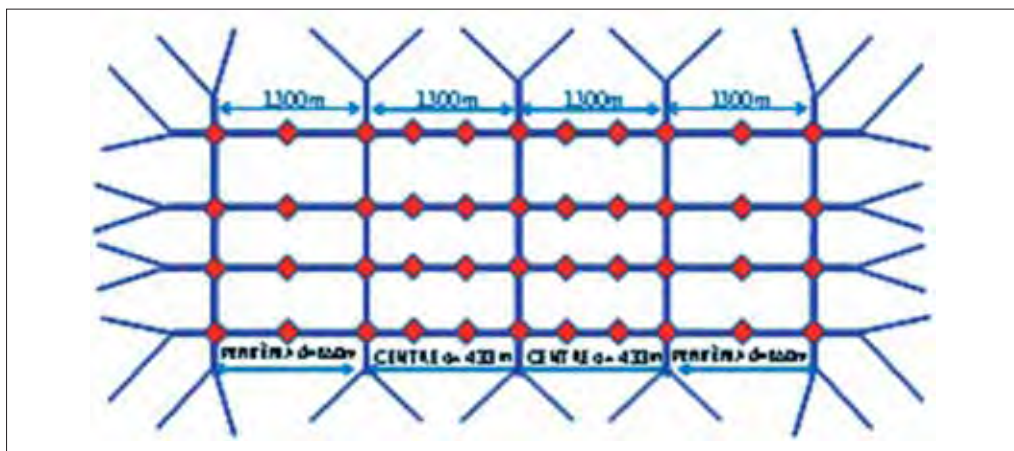


Figura 15. Esquema de la xarxa urbana d'autobusos d'altres prestacions.

Font: CENIT, 2009a.

La flota actual de TMB va transportar el 2008 uns 188 milions d'usuaris, va realitzar 41,4 milions de quilòmetres i va oferir un total de 3.519 milions de places-km (taula 26). La solució plantejada amb la nova xarxa ortogonal reforçada amb una xarxa d'autobusos de serveis convencionals i de proximitat (busos de barri) realitzaria anualment un 10% menys de vehicles kilòmetres (36 milions de veh/km) per oferir una oferta de transport similar a l'actual i valorada en 3.497 milions de places-km. Amb la reducció del temps de viatge, la demanda en transport públic en superfície pujaria als 219 milions de passatgers anualment amb l'entrada en servei de tota la xarxa (taula 27). De la comparació de les taules anteriors, es pot concloure que la nova xarxa planteja un ús més eficient dels recursos, i contribueix a la reducció dels vehicles-km tot i assegurant la mateixa oferta de transport.

Indicador	Any 2008
Places-km	3.519.410.000
Vehicle-km	41.385.440
Viatges	188.330.000
Nombre de línies	108
Velocitat	11,7
Vehicles	
Vehicles dièsel	831
Vehicles GNC	248
Total vehicles	1.079

Taula 26. Característiques de la xarxa actual de TMB.
Font: TMB, 2009.

Modes no motoritzats

L'impuls dels 'carrils bici' que està portant les bicicletes públiques de lloguer (BiCiNg a Barcelona), l'ús de sistemes no motoritzats i els itineraris de vianants poden fomentar la sostenibilitat i la connectivitat entre punts estratègics de les ciutats.

Segons l'Enquesta de Mobilitat Quotidiana de l'any 2006, el 45,1% dels desplaçaments de dia feiner a Catalunya es realitzen en modes no motoritzats. L'anàlisi dels modes de transport determina que caminar és la forma de moure's més habitual a Catalunya amb un total de 10,2 milions de desplaçaments diaris. Addicionalment, els desplaçaments a peu de menys de 10 minuts constitueixen més del 60% dels desplaçaments realitzats amb modes no motoritzats en dia feiner. Tanmateix, la bicicleta encara és un mode poc important que representa el 2% dels desplaçaments no motoritzats. En desplaçaments a peu, la distància mitjana recorreguda és d'aproximadament 1.600 metres, mentre que la distància recorreguda en bicicleta és de 3,2 km en zona urbana.

Els beneficis ambientals i socials de qualsevol mesura que prioritzi i garanteixi la seguretat de la circulació de vianants i bicicletes són indiscutibles per als desplaçaments interns a les ciutats, atesa la curta distància dels viatges. En moltes ciutats i poblacions s'han construït zones de prioritat de vianants o «zones 30» en entorns residencials, escolars o d'activitat comercial. Per exemple, Barcelona disposa d'una superfície de

Xarxa futura TMB	Xarxa altes prestacions 2015		Xarxa convencional	Total TMB
	Dia típus	Anual	Anual	Anual
Places-km	5.362.731,19	1.737.524.904,67	1.759.705.000,00	3.497.229.904,67
Vehicles-km	48.752,10	15.795.680,95	20.692.720,00	36.488.400,95
Viatges	500.000,00	153.800.000,00	65.915.500,00	219.715.500,00
Nombre de línies		11	65	76
Velocitat		15	11,7	—
Vehicles				
Vehicles dièsel		272	312	584
Vehicles GNC		0	248	248
Híbrids			100	100
Total vehicles		72	660	932

Taula 27. Indicadors de la nova xarxa ortogonal amb reforç de serveis convencionals.
Font: CENIT, 2009b.

101 km², un 17% dels quals són places i carrers per circular-hi, i un 0,7%, 69 ha, són superfície amb prioritat per a vianants.

Tanmateix, l'adopció d'aquestes mesures de pacificació del trànsit té com a objectiu bàsic la millora de la seguretat dels desplaçaments a peu. No són una mesura pròpiament de reducció d'emissions si no assoleixen un traspàs de quota de mercat del cotxe a modes de transport no motoritzats o transport públic. L'aplicació de mesures de protecció i prioritització dels vianants, com per exemple una coordinació dels semàfors a favor de la mobilitat a peu, és el punt clau per aconseguir aquest canvi modal. En aquest sentit, l'establiment d'aquestes mesures és recomanable quan es garanteix la reducció de vehicles privats en la ciutat i quan les vies alternatives puguin captar el trànsit de pas. Addicionalment, les intensitats de circulació en els carrils de les àrees 30 han de ser inferiors a 2.000 vehicles/dia per no generar problemes de trànsit.

Per una altra banda, la bicicleta és el mode de transport més eficient energèticament (en energia unitària per viatger-km). La promoció de l'ús de la bicicleta es pot aconseguir construint vies o carrils per a bicicletes, incentivant-ne la compra o bé facilitant-ne el lloguer. La primera mesura té com a objectiu reduir el cost extern més important associat a les bicicletes: els sinistres. Com que la bicicleta és relativament «nova» en les nostres ciutats com a recurs per servir la mobilitat quotidiana, cal que l'espai viari s'hi adapti, integri i protegeixi aquest mitjà de transport.

La segona mesura es basaria en determinar una fiscalitat específica per a la compra de bicicletes amb un IVA menor al 18%, o mitjançant la incentivació de la seva compra. La tercera mesura es basaria en el desenvolupament de sistemes de lloguer de bicicletes municipals (com el BiCiNg a Barcelona) per realitzar viatges de curta durada o viatges de connexió a la xarxa de transport públic d'una ciutat. Aquests sistemes s'han estès ràpidament per les ciutats i poblacions de Catalunya i han produït un canvi social sobre la percepció d'aquest mitjà de transport dins la societat. Malgrat el seu populisme, cal tenir cura en la seva planificació i gestió per proposar models de bicicletes, ancoratges i parades, extensions del servei, manteniment i política tarifària adients.

El BiCiNg com a transport individual presenta uns costos socials creixents amb la demanda però inferiors als del vehicle privat. Tanmateix, el dubte radica a saber si el BiCiNg és més eficient que el transport col·lectiu. La demanda asimètrica entre els punts o barris de la ciutat causa problemes de sincronització amb una oferta més o menys homogènia dels serveis de transport públic (autobusos, metro, tramvia) i també del servei BiCiNg. En el cas de les bicicletes de lloguer aquest fet desencadena que l'oferta de bicicletes s'hagi de rebaixar, sobretot en zones de difícil orografia o per la celebració d'events especials, amb l'ús d'una flota de furgonetes (dièsel). Aquest fet comporta que el cost mitjà de reposicionament d'una bicicleta sigui similar al cost del transport públic, tot i que el segon presenta una major capacitat de transport. Hi ha dubtes també sobre el fet que el BiCiNg presenti economies d'escala en el seu ús a partir de cert llinar de rotació diària i diversitat d'usuaris (vandalisme, mal ús, robatoris, manteniment, logística de la recollida i balanceig de les bicicletes, etc.). Tots aquests aspectes han d'analitzar-se amb rigor abans d'implantar un sistema com el BiCiNg. Això no obstant, no es pot negar que el sistema BiCiNg ha estat un èxit social. Inaugurat a Barcelona el març de 2007, ha completat el seu desplegament a la ciutat amb 6.000 bicicletes i 390 estacions el 2008, amb uns costos anuals d'exploatació a l'entorn dels 18 milions d'euros. El nombre d'abonats s'ha incrementat el 2008 en un 80%, i ha arribat als 181.962 abonats; el nombre de bicicletes BiCiNg detectades al carrer també s'ha incrementat un 30,1%. Es realitza una mitjana de 37.669 desplaçaments en dia laborable (Ajuntament de Barcelona, 2009).

En el futur, les bicicletes públiques de lloguer seran elèctriques, com ja ha començat a oferir París, el que comportarà millor balanceig de fluxos en itineraris amb rampes com el mar-muntanya a Barcelona, però també comportarà més inversió i despeses de manteniment: en conseqüència, caldrà una política tarifària adient.

Gestió de la velocitat a les vies d'accés a les grans ciutats

La implantació d'un sistema de gestió variable del límit de velocitat (GVV) per sota dels 80 km/h pot aportar beneficis significatius en la reducció

de sinistres amb pèrdua de vides humanes i en la reducció d'emissions en dos aspectes. Per una banda, en el context actual del parc mòbil, l'òptim de velocitat en termes de consum de carburant i emissió de CO_2 se situa proper als 70 km/h (figura 16). Per tant, una reducció de la velocitat mitjana de circulació en aquelles situacions en què no impliqui la creació d'un coll d'ampolla addicional, comportarà millores en termes d'emissions, encara que aquestes no serien gaire significatives. Addicionalment, en el cas que el sistema de gestió variable de la velocitat provoqui una uniformització de velocitats dins del flux de trànsit en situació de saturació, tot i mantenir-se la velocitat mitjana de circulació, s'aconsegueix una reducció de la variància de velocitats corresponent a una reducció del fenomen d'*engegar i parar*. Aquesta reducció de la variància portarà associada una reducció de les emissions que no s'ha de considerar menyspreable.

L'aplicació d'aquesta mesura s'ha portat a terme recentment en el corredor format per la C-31 i la C-32 en els seus trams d'accés al sud de Barcelona a partir de l'1 de gener del 2008. S'ha avaluat la reducció d'emissions dels contaminants bàsics (PM_{10} , NO_x i CO_2) en dos escenaris temporals diferents: el 18 de desembre de 2007 (anterior a la posada en servei de la GVV) i l'11 de febrer del 2009 (en condicions d'aplicació de la mesura), ambdós dies feiners sense presència d'accidents o disruptions de trànsit.

Les taules 28a i 28b presenten els resultats de reducció de les emissions en diferents franges horàries valorades en CENIT (2009a). Els valors absoluts presentats són els excessos de producció de contaminants per sobre de la situació òptima on es circula a la velocitat que minimitza les emissions (excés de contaminació per sobre l'òptim). La variació percentual representa el percentatge d'increment d'emissions respecte l'òptim entre els dos escenaris, mentre que el percentatge no òptim representa la diferència del volum d'emissions total en relació amb el volum d'emissions total en la situació prèvia a l'entrada en servei de la mesura.

Pels resultats obtinguts, s'observa que encara queda força camí per recórrer ja que les variacions percentuals obtingudes són de mitjana d'aproximadament el 30%. Considerant els resultats per a cada contaminant individual, cal destacar l'elevat percentatge de millora observat en el cas del CO_2 , tot assolint descensos d'un 37,77%, mentre que els beneficis més limitats s'obtenen per als NO_x amb una reducció del 9,82%.

Pel que fa a la reducció global de les emissions (sense considerar l'increment per sobre de l'òptim), s'observa que ha estat d'aproximadament d'un 6%. Aquest 6% global incorpora els efectes de la reducció de la demanda conseqüència del context de crisi econòmica així com els propis de la mesura. Tot i així, aquests valors no signi-

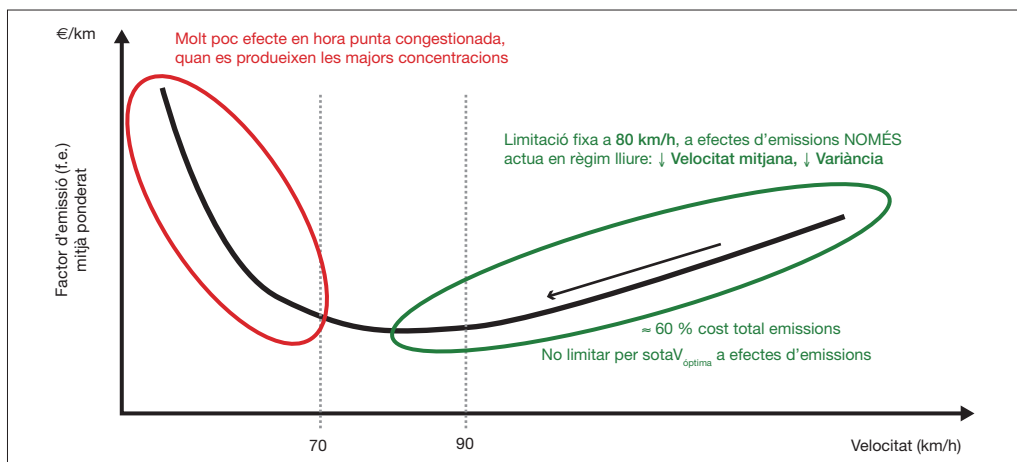


Figura 16. Efecte de la GVV en règim lliure i en règim saturat.
Font: CENIT, 2009a.

Emissions		18 desembre 07 (g)	11 febrer 09 (g)	Variació		
				En percentatge	(% no òptim*)	Absoluta
Total	PM ₁₀	5.300,11	4.065,57	23,29%	-8,79%	-1.234,54
	NO _x	172.849,02	155.870,09	-9,82%	-5,15%	-6.978,93
	CO ₂	121.515.677,00	7.5615.489,68	37,77%	-6,04%	45.900.187,75
HP matí	PM ₁₀	1.970,74	1.406,68	28,62%	-8,79%	-564,06
	NO _x	45.784,44	46.123,78	0,74%	1,41%	339,34
	CO ₂	63.584.018,50	34.405.353,92	45,89%	-5,57%	29.178.664,55
HP tarda	PM ₁₀	595,12	484,63	18,57%	-9,22%	-110,49
	NO _x	21.218,26	18.242,23	14,03%	-8,61%	-2.976,03
	CO ₂	12.163.486,10	9.384.357,80	22,85%	-7,19%	-2.779.128,27
Nocturna	PM ₁₀	507,94	392,30	22,77%	-9,73%	-115,64
	NO _x	18.794,91	16.107,94	14,30%	-8,00%	-2.686,97
	CO ₂	8.919.674,50	5.957.788,40	33,21%	-6,66%	-2.961.886,10
Resta del dia	PM ₁₀	2.226,31	1.781,97	19,96%	-8,47%	-444,34
	NO _x	87.051,41	75.396,14	13,39%	-7,53%	-11.655,27
	CO ₂	36.848.498,40	25.867.989,55	19,80%	-5,93%	10.980.508,84

Emissions		18 desembre 07 (Euros)	11 febrer 09 (Euros)	Variació		
				En percentatge	(% no òptim**)	Absoluta
Total		3.527,61	2.428,25	-31,16%	-6,04%	-1.099,36
HP matí		1.629,60	984,81	-39,57%	-5,54%	-644,79
HP tarda		372,02	296,02	-20,43%	-7,20%	-76,00
Nocturna		288,58	209,88	-27,27%	-6,67%	-78,70
Resta del dia		1.237,40	937,54	-24,23%	-5,94%	-299,86

Taules 28a i 28b. Avaluació de la reducció d'emissions en els corredors C-31 i C-32.

Font: CENIT (2009a)

*Indicador d'emissions per sobre l'òptim estratificat per contaminant.

**Indicador de costos per sobre l'òptim d'emissions agregat per tots els contaminants.

fiquen que la mesura sigui socialment rendible, ja que implica efectes negatius en termes de temps de viatge. Cal decidir quant s'està disposat a pagar per reduir les emissions i establir la velocitat d'equilibri resultant.

Incentivar la renovació de flotes cap a vehicles més nets i eficients

Una de les mesures per mitigar l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle és la dotació d'incentius fiscals o la promoció per part de les administracions de l'adquisició de vehicles de menys consum i menys agressius amb el canvi climàtic. Si bé aquesta mesura es pot realitzar de forma uniforme per a tot el parc mòbil, la realitat és que la implantació més eficient i de menor cost és prio-

ritzar la renovació d'aquells vehicles que realitzen un major quilometratge a l'any. En l'àmbit urbà, en aquest grup s'inclouen els vehicles de distribució de mercaderies, els vehicles de transport públic (autobusos i autocars), els taxis, els vehicles de neteja i manteniment, i els vehicles de negocis o de comercials. D'aquesta manera, actuant sobre un percentatge reduït del parc mòbil, estarien minvant la contaminació i el consum associats a un alt valor de vehicles-quilòmetre.

Durant l'any 2009, l'ICAEN, conjuntament amb l'Institut Metropolità del Taxi de la RMB, ha atorgat uns ajuts econòmics als taxistes amb llicències actives per a la compra de vehicles híbrids o de GLP que substitueixin vehicles antics no eficients energèticament. Les subvencions per

	2007		2010		2015		2020	
	Taxis	%	Taxis	%	Taxis	%	Taxis	%
Pre ECE 15-00/01 (anteriors a 1978)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ECE 15-02 (1978-1980)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ECE 15-03 (1981-1985)	6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ECE 15-04 (1986-1992)	7	0,1	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EURO I (1993-1995)	39	0,4	22	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
EURO II (1996-2000)	295	3,0	163	1,6	60	0,6	0,0	0,0
EURO III (2001-2004)	3.605	37,2	2.293	23,2	1.079	10,6	507	4,8
EURO IV (2005-2010)	5.629	58,0	3.787	38,3	1.888	18,5	941	9,0
> EURO IV i híbrids	122	1,2	3.610,0	36,5	7.157,0	70,3	9.048,0	86,2
TOTAL	9.703	100	9.879	100	10.184	100	10.496	100

Taula 29. Evolució del parc mòbil de taxis amb una política activa de migració a vehicles híbrids (ajuts fiscals).

Font: CENIT (2009c).

*Considerem que els qui renoven el taxi se'l compren híbrid.

a la renovació de la flota oscil·len entre els 1.000 i els 2.300 euros, en funció del tipus de combustible, tecnologia del vehicle (GLP, híbrid o gas natural) i les emissions de CO₂.

Partint del fet que el 2007 hi ha un total de 10.409 llicències actives i que en un dia mitjà estan treballant 9.703 vehicles amb llicència, la taula 29 mostra el repartiment del parc mòbil de taxi segons emissions euro l'any 2007. La taula també mostra l'evolució prevista del parc mòbil del sector del taxi, considerant que la vida mitjana d'un vehicle és de 7,5 anys amb una política activa de renovació de la flota.

Analitzant els quilòmetres que realitza tota la flota a la RMB, es pot concloure que el sector del taxi va ser responsable a l'any 2007 d'un total de 401 milions de veh/km. Amb aquestes dades i fent la projecció per a l'escenari 2015 i 2020 es poden calcular les emissions i els consums del parc mòbil total de taxis en la taula 30. Tot i una lleugera pujada del nombre de llicències (vehicles) en el futur, el consum i les emissions totals per als anys 2015 i 2020 es redueixen en un 10% i un 19% respectivament, en relació amb l'escenari temporal 2007.

Darrerament, el Banc Europeu d'Inversions ha concedit un crèdit a l'empresa Fomento de Construcciones y Contratas, S.A. per a la renovació de la flota de recollida d'escombraries i de neteja a 130 ciutats espanyoles on té la concessió

d'aquest servei. La mesura tindrà un cost de 350 M€, 175 dels quals provindran del crèdit del BEI, i es basarà en l'adquisició de vehicles elèctrics o de gas natural.

Altres mesures i propostes de mitigació a desenvolupar al territori català serien:

- Millor manteniment dels vehicles per reduir els factors de consum i les emissions, establint unes inspeccions tècniques de vehicles encaminades a aquesta finalitat. Els defectes típics del parc mòbil són una combustió pobre, deficiències del carburant, estat del pneumàtic, alineació, etc. L'existència d'un grau de desalineació incrementa el consum de combustible en vehicles pesats en un 3%, mentre que dos graus generen un sobrecost del 8% (Department for Transport, 2006).
- Manuals de conducció eficient o cursos de conducció eficient obligatoris per a professionals del transport. Els programes de formació han aconseguit una reducció de combustible del 10% en una prova pilot efectuada a 6.179 conductors del Regne Unit (McKinnon, 2008).
- Desenvolupament d'un marc normatiu que incentivi la incorporació d'energies no convencionals en el sector del transport. L'objectiu és incorporar biocombustibles i altres energies de baixa producció de CO₂ (elèctrica, vehicles híbrids o energia eòlica). A tall d'exemple,

EMISSIONS TAXI amb híbrid									
	ESCENARI 2007			ESCENARI 2015			ESCENARI 2020		
	Emissions tot. anuals (kg)			Emissions tot. anuals (kg)			Emissions tot. anuals (kg)		
	Diesel	Híbrid	Total	Diesel	Híbrid	Total	Diesel	Híbrid	Total
NOX	292.946	0	292.946	286.195	0	286.195	268.588	0	268.588
CO	58.526	1.966	60.492	57.153	3.828	60.981	52.657	7.449	60.106
VOC	7.618	445	8.063	5.792	866	6.658	4.722	1.686	6.408
PM	13.520	0	13.520	13.106	0	13.106	12.307	0	12.307
SO ₂	5.965	0	5.965	3.079	0	3.079	1.993	0	1.993
NH ₃	401	0	401	401	0	401	384	0	384
N ₂ O	3.567	0	3.567	3.597	0	3.597	3.457	0	3.457
CH ₄	343	0	343	150	0	150	81	0	81
CO ₂	92.210.820	689.520	92.900.340	81.649.530	1.342.749	82.992.279	73.893.062	2.612.916	76.505.978
TSP	74.169	0	74.169	74.169	0	74.169	74.169	0	74.169
PM10	55.912	0	55.912	55.912	0	55.912	55.912	0	55.912
PM2,5	27.217	0	27.217	27.217	0	27.217	27.217	0	27.217
PM1	4.482	0	4.482	4.482	0	4.482	4.482	0	4.482
PM0,1	3.586	0	3.586	3.586	0	3.586	3.586	0	3.586

CONSUMS TAXI amb híbrid									
	ESCENARI 2010			ESCENARI 2015			ESCENARI 2020		
	Diesel	Híbrid	Total	Diesel	Híbrid	Total	Diesel	Híbrid	Total
Consum total anual (L)	34.981.664	288.760	35.270.424	30.979.754	562.322	31.542.076	28.611.134	1.094.249	29.705.383

Taula 30. Emissions i consum de la flota de taxis.

McDonalds propulsa part de la seva flota amb oli vegetal de rebuig dels seus restaurants. Per altra banda, la plataforma Tesco està instal·lant turbines de generació d'energia eòlica per a la recàrrega de les bateries dels vehicles elèctrics de distribució. Cal remarcar que DHL també està desenvolupant instal·lacions eòliques de mida reduïda en zones adjacents als seus centres del Regne Unit.

- Desenvolupament de plans de mobilitat empresarial i industrial, pla d'accessibilitat en transport públic a nous desenvolupaments, pla de mobilitat sostenible als PGOU. Una de les actuacions més destacables derivades dels plans de mobilitat ha estat el servei d'autobús llançadora entre la parada de FGC de Sant Joan a Sant Cugat i el polígon de Sant Joan i la Guinardera. La línia posada en servei el 2003 ha presentat un nombre creixent d'usuaris (1.400 passatgers diaris actualment, servits per 3

vehicles) i ha reduït notablement l'accés en vehicle privat.

- Gestió de la distribució urbana de mercaderies. Quotes setmanals o mensuals a comerços i transportistes, reserva de plaça de càrrega i descàrrega a vehicles híbrids o de baixes emissions, construcció de microplataformes urbanes, campanya a carregadors i clients per a explicitar el cost del transport de mercaderies, tarifes d'impacte per a grans comerços, incentius per a la distribució nocturna a comerços, etc.
- Foment del vehicle compartit (*carpooling*): possibilitar que les persones que realitzin un mateix recorregut (per anar a estudiar, treballar...) es puguin posar en contacte per poder compartir les places de cotxe i les despeses del trajecte, fomentant un ús racional del vehicle privat. Pel que fa a les places d'aparcament, oferir un servei que possibiliti que les persones que en tenen una i que durant el dia (la nit, o part

del dia) no la utilitzin, pugui ser utilitzada o compartida per algú que vingui a treballar a la ciutat. Aquestes mesures impliquen molt més que infraestructures i incentius tarifaris, i tenen aspectes sociològics, psicològics i antropològics per al seu èxit.

- Foment del *carsharing*: donar suport al vehicle de propietat compartida i fomentar-ne l'ús i els avantatges. Campanya d'informació i promoció entre els grups de possibles usuaris.

23.4. Variacions en la situació del transport respecte al primer Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya (ICCC05)

En el 1r Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, publicat el 2005, Robusté i Casas (2005) presentaven perspectives poc optimistes de millora per al sector del transport en l'horitzó del 2020. El consum energètic del transport a Catalunya havia augmentat en el darrer decenni del segle xx fins a ser el sector de principal consum (38,5%; un increment del 86,4% en el període 1980-1997 contra només un 5,8% d'augment de consum energètic per part de la indústria i un 50,5% del sector domèstic i de serveis), les distàncies havien augmentat, les ocupacions mitjanes havien disminuït, etc.

La pròpia Unió Europea preveia que tant els trànsits de mercaderies (en tones-km) com el de viatgers (en viatgers-km) creixerien sostingudament en l'actual decenni. De fet, tots els sectors de subministrament d'electricitat, indústria, habitatges, agricultura, serveis i residus s'estabilitzaven (serveis i habitatges) o bé minvaven les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en el període de vint anys 1990-2010, amb l'excepció del transport, que pujava un 35%.

En l'escenari previ a la redacció del 1r Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, malgrat l'evolució positiva dels vehicles en eficiència energètica i en efectes unitaris negatius vers el canvi climàtic, s'afirmava que, malauradament, els compromisos de Kyoto quant a emissions del sector transport eren més voluntaristes que realistes i eren inassolibles en el present decenni. Així ha estat. Des de fa dos anys hi ha dos elements nous, externs al comportament del sector, que fan que la situació del transport, mobilitat i logística en aquest 2n Informe sobre el canvi climàtic

a Catalunya siguin més optimistes: la crisi econòmica global i les perspectives de les noves fonts energètiques per a la mobilitat (electricitat i piles d'hidrogen):

- La crisi econòmica global 2008-2011 ha retret els trànsits, tant de viatgers com de mercaderies, a nivells de començaments de la dècada 2000-2009.
- La introducció de piles d'hidrogen i l'electrificació del transport disminuirà al mínim les emissions del transport en quinze anys (durant aquest període necessari per al canvi tecnològic a gran escala i per a la viabilitat de les noves opcions energètiques quant a autonomia i preu, els vehicles híbrids faran un paper d'interfase).

Es preveuen, doncs, dues fases: un període de transició d'uns 15 anys fins al 2025 on les mesures d'augment d'ocupació, tarifació (Eurovinyeta a les carreteres, tarifes de congestió i aparcament als àmbits metropolitans), etc. i un lleu canvi modal per les inversions ferroviàries i en mobilitat a les ciutats com el lloguer de bicicletes públiques tipus BiCiNg, desvincularan els efectes del canvi climàtic a la proporcionalitat d'augment dels vehicles-km de la mobilitat. Addicionalment, la conscienciació pública del problema ha permès desenvolupar instruments normatius i de planificació (plans de mobilitat) que apunten a un canvi de tendència en l'ús extensiu del vehicle privat i aposten per la seva racionalització així com pel foment del transport públic i de la mobilitat no motoritzada. La crisi global del 2008-2011 ha permès guanyar un decenni quant a nivell de trànsits (vehicles-km) i, per tant, reduir l'impacte del transport sobre el canvi climàtic.

Una segona fase començaria el 2025. En l'horitzó del 2050, es preveu una mínima incidència del sector transport en el canvi climàtic quant a emissions (si l'energia elèctrica s'obté de forma neta) però continuarà presentant reptes socials quant a consum energètic i externalitats (congestió, accidents, soroll, efecte de barrera, etc.).

23.5. Conclusions

La mobilitat de persones i mercaderies a Catalunya representa 103,12 milions de vehicles-km al dia, amb un consum global de 3.173,45 milions

de litres de carburant i 11,3 milions de tones equivalents de CO₂.

Dos aspectes tàctics (la crisi global de 2008-2011) i el canvi de base energètica per al transport (energia elèctrica i piles d'hidrogen, fins fa pocs anys inviablès econòmicament i tècnica) permeten ser més optimistes en aquest *II Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya* i conclou que, després del 2025, les emissions del sector transport seran mínimes i només continuaran com a reptes socials el consum energètic i altres externalitats diferents de les emissions (congestió, accidents, soroll, efecte de barrera, etc.) d'igual importància.

Les possibles mesures d'actuació sobre aspectes sectorials detallades en la secció 4 comporten estalvis energètics i d'emissions continguts. No obstant això, el desenvolupament conjunt de totes les mesures sumades a instruments normatius, de planificació sostenible i a la creixent conscienciació ciutadana, tindran un efecte sinèrgic en la mitigació del canvi climàtic derivat del transport, la mobilitat i la logística.

Referències

- ACCIONA (2007). *La reacción del mercado: el transporte marítimo de corta distancia en Europa*. A Coruña, 25 d'abril 2007.
- AJUNTAMENT DE BARCELONA (2008). *Dades bàsiques de mobilitat 2007*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona, Direcció de Serveis de Mobilitat.
- (2009). *Dades bàsiques de mobilitat 2008 (v.02)*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona, Direcció de Serveis de Mobilitat.
- AUTORITAT DEL TRANSPORT METROPOLITÀ, ATM (2009). *Memòria d'activitat 2008*.
- CANALES, C., ESTRADA, M.A.; SOUIRGI, R.; ROBUSTÉ, F. (2006). «Public Transport Policies in Europe: Implementing bus rapid transit systems in major European cities». *European Transport Conference*. Strasbourg, 19 de setembre de 2006.
- (2009a). *Estudi per a la definició i concreció de les necessitats pel futur mòdul de gestió avançat de velocitat variable sobre el corredor format per la C-31 i la C-32 en els seus trams d'accés al sud de Barcelona*. Amb la col·laboració del Servei Català de Trànsit. (Document intern).
- CENIT (2009b). *Xarxa de Transport Públic de Barcelona. Bases per a la definició d'un nou model integrat dels serveis de superfície*. Amb la col·laboració de Transports Metropolitans de Barcelona i l'Ajuntament de Barcelona. (Document intern).
- CENIT (2009c). *Anàlisi de l'oferta i la demanda a la xarxa de taxis de l'àrea metropolitana de Barcelona*. Amb la col·laboració de l'Institut Metropolità del Taxi. (Document intern).
- DEPARTAMENT DE POLÍTICA TERRITORIAL I OBRES PÚBLIQUES (2008). *Observatori de la Mobilitat. Trànsit*. Generalitat de Catalunya.
- (2009a). *Observatori de la Mobilitat. Trànsit*. Generalitat de Catalunya.
- (2009b). *Observatori de la Mobilitat. Transport de Mercaderies*. Generalitat de Catalunya.
- (2009c). *Observatori del transport de mercaderies per carretera a Catalunya*. Generalitat de Catalunya.
- (2006). *Model de previsió de demanda de trànsit a Catalunya*. Generalitat de Catalunya.
- DEPARTAMENT DE POLÍTICA TERRITORIAL I OBRES PÚBLIQUES, AUTORITAT DEL TRANSPORT METROPOLITÀ (2006). *Enquesta de Mobilitat Quotidiana 2006*.
- DEPARTMENT FOR TRANSPORT (2006). *Fuel Management Guide*. London.
- ESTRADA, M.A. (2007). *Gestión del Transporte Urbano de Mercancías. Actes de les Jornades Tècniques de la Mobilitat de Ciutadans i Mercaderies*. GIZLOGA. Sant Sebastià, 28 de novembre de 2007.
- (2008). *Análisis de estrategias eficientes en la logística de distribución de paquetería*. Càtedra Abertis UPC. (V Premi Abertis de Gestió d'Infraestructures de Transport).
- ESTRADA, M.; TOMÀS J. (2009). *El canvi climàtic i el transport*. Centre d'Innovació del Transport CENIT. (Document intern).
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2007a). *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2007*. Technical report No 16/2007.
- (2007b). *COPERT IV. Computer programme to calculate emissions from road transport. User Manual*. Laboratory of Applied Thermodynamics. Aristotle University of Thessaloniki.
- FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA, FGC, (2009). *Memòria anual 2008*.
- GARCÍA-ÁLVAREZ, A. (2005) «El tren de alta velocidad no es un depredador de energía». *Revista Dyna* Vol. 80. La responsabilidad civil del ingeniero.
- (2008) «Consumo de energía y emisiones del tren de alta velocidad en comparación con otros modos». *Revista Via Libre*, 515. Fundación de Ferrocarriles Españoles.

- GARRIDO, D. (2009). *Anàlisi de la rendibilitat empresarial i social de la distribució de mercaderies a les ciutats durant la nit*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona. (Tesi de graduació dirigida per Miquel Estrada).
- GISA (2005). *Estudi de viabilitat de la implantació d'un carril bus d'entrada a Barcelona a l'autopista C-31 entre Montgat i Barcelona*. Gestor d'Infraestructures, S.A.
- INFRAS (2004). *Costes externos del transporte. Estudio de actualización*. IWW-Universitaet Karlsruhe.
- INSTITUT D'ESTUDIS REGIONALS I METROPOLITANS DE BARCELONA (2007). *Enquesta de mobilitat quotidiana de Catalunya 2006*.
- McKINNON, A. (2008) The Potential of Economic Incentives to Reduce CO2 Emissions from Goods Transport. *1st International Transport Forum on 'Transport and Energy: the Challenge of Climate Change'*. Leipzig, 28-30 May 2008.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2008). *Estrategia Española de Movilidad Sostenible*. Conjuntament amb Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- (2005). *Plan Estratégico de Infraestructuras y de Transportes*. Informe de Sostenibilidad Ambiental.
- (2004). *Plan Estratégico de Infraestructuras y de Transportes*. Documento propuesta.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2007). *Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2012-2020*. Oficina Española de Cambio Climático.
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2008). *Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.
- RALLO, V. (2008) *Costes del transporte de mercancías por ferrocarril*. Observatorio del Ferrocarril Español. Fundación de los Ferrocarriles españoles.
- ROBUSTÉ, F. (2003) «Logística de la distribució urbana de mercaderies», *Papers* 38, p. 29-47.
- ROBUSTÉ, F.; CASAS, C. (2005) «Transport». A: LLEBOT, J. E. (ed.) *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*; Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible.
- ROBUSTÉ, F.; CARDENAL, J. (2001) *Pla Energètic de Barcelona: Transport*. Barcelona: Barcelona Regional.
- ROBUSTÉ, F. [et al.] (2000). *Els comptes del transport de viatgers a la Regió Metropolitana de Barcelona*. Any 1998; Barcelona: Autoritat del Transport Metropolità, ATM.
- SOLÉ, J. (2009). *Efectes de les microplataformes de distribució urbana de mercaderies*. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona. (Tesi de graduació dirigida per Miquel Estrada).
- TRANSPORTS METROPOLITANS DE BARCELONA (2009), *Informe anual 2008*. Barcelona.

Webgrafia

www.repsol.com/es_ca/ (22 de setembre de 2009).

24. Canvi climàtic: territori, urbanisme i edificació. Nous models (més) sostenibles

Manuel Gausa, coordinador

1a part: Manuel Gausa (coord.) i Salvador Rueda, Agència d'Ecologia Urbana; Ivan Muñiz, economista, i Francesc Muñoz, geògraf, UAB; Daniel Calatayud, arquitecte, ETSAB - UPC

2a part: Manuel Gausa (coord. gral) i Joan Sabatè, EA-La Salle-URL

3a part: Manuel Gausa (coord. gral), Marta Pérez i Santiago Gorostiza, IC-UPC

Manuel Gausa Navarro (Barcelona, 1959). Arquitecte, 1983 (ETSAB-UPC), doctor arquitecte («Cum Laude», ETSAB-UPC, 2005). De 1991 a 2001 va ser director de la revista *Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme* (COAC), i de 1995 a 2000 fou professor associat de projectes a l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB-UPC). De 2003 a 2006 fou president del Comitè Científic de l'Institut d'Arquitectura Avançada de Catalunya. Actualment és professor titular de Projectes i Composició i director de la Scuola di Dottorato in Architettura e Design a la Facoltà d'Architettura della Università degli Studi di Genova. Des del 2004 és membre del CADS, i n'és vicepresident des de 2008. Cofundador el 1994 del grup Actar, des de 1995 dirigeix la firma Gausa + Raveau *actararquitectura* S.L.P. (Estudi d'Arquitectura i Urbanisme). És autor de nombrosos llibres, articles i publicacions, i els seus projectes han estat guardonats amb nombrosos premis internacionals. El 2000 va ser distingit amb la Medaille de l'Académie d'Architecture de França.

Resum	1061
Introducció. Consideracions inicials. Metodologia i vectors de qualitat ambiental	1063
24.1. Primera part. Escala urbanística: territori-ciutat, hàbitats i habitatges: models d'ocupació, models d'articulació i models de desenvolupament	1066
24.1.1. El paper de la concepció territorial en el context del canvi climàtic	1066
24.1.2. Ciutat compacta - ciutat difusa - ciutat entrellaçada	1067
24.1.2.1. Mutacions i taques de tinta. De la ciutat recinte a la ciutat xarxa. Catalunya multicciutat	1067
24.1.2.2. Estratègies multinter: models disdensos, models plurinuclears	1075
24.1.2.3. Polítiques econòmiques i estratègies de gestió globals i locals per avançar cap a maneres més sostenibles d'ocupació del territori	1076
24.1.3. Sostenibilitat i forma urbana: criteris de rutina i nous criteris d'interacció	1080
24.2. Segona part. Escala edilícia: ciutat-edifici, habitatges i habitatge: paràmetres de disseny, criteris d'acció	1087
24.2.1. El paper de l'edificació en el context del canvi climàtic. Inèrcies i rutines	1087
24.2.2. Objectius i accions per a la sostenibilitat. Cicles bàsics i factors associats	1091
24.2.2.1. Estratègies i models de reducció de CO ₂ eq. a l'edificació	1093
24.2.2.2. Marc normatiu i nous vectors ambientals	1098
24.2.3. Algunes pautes estratègiques i constructives	1101
24.3. Tercera part. Escala domèstica: edifici-llar, habitatge i habitants. Usos i usuaris, pautes de comportament	1103
24.3.1. El paper dels consums a la llar en el context del canvi climàtic. Anàlisi de tendències.	1103
24.3.1.1. El consum d'energia a la llar	1104
24.3.1.2. El consum d'aigua a la llar	1108

24.3.1.3. La generació de residus a la llar	1110
24.3.1.4. Resum	1112
24.3.2. Mesures per a la sostenibilitat a la llar	1113
24.3.3. Objectius i accions per a la sostenibilitat a la llar. Pautes bàsiques	1114
24.4. Consideracions finals. Cap a un urbanisme i una arquitectura (més) interactius	1115
24.5. Conclusions	1118
24.5.1. Primera part. Escala urbanística: territori-ciutat, hàbitats i habitatges. Models d'ocupació, models d'articulació, models de desenvolupament	1118
24.5.2. Segona part. Escala edilícia: ciutat-edifici, habitatges i habitatge. Paràmetres de disseny, criteris d'acció	1119
24.5.3. Tercera part. Escala domèstica: edifici-llar, habitatge i habitants. Usos i usuaris, pautes de comportament	1119

Resum

El text que aquí es presenta aborda l'anàlisi dels possibles factors relacionats amb la resposta sostenible i el canvi climàtic a Catalunya des de l'abordatge del binomi habitat/habitatge i la seva interacció amb paràmetres de projectació, construcció i planificació, territorial, urbanística i edificatòria.

El treball s'estructura en tres grans apartats segons la mateixa escala d'abordatge i els àmbits d'estudi plantejats.

Una primera part, a escala territorial i urbana, planteja una reflexió sobre els models recurrents d'ocupació i organització del territori i la possibilitat d'orientar-los cap a dinàmiques més sostenibles de planificació. El debat entre models compactes, models difusos i nous models en xarxa d'articulació global i concertació intermunicipal —plurinuclears o pluricompactes— ocupa la part central de les aportacions. Alhora, una reflexió sobre els models recents d'intervenció i actuació urbanístiques i una reconsideració d'aquests models a partir d'anàlisis i casos d'estudis ponderats, completen aquest apartat. La reutilització dels teixits existents, la formulació de nous paràmetres qualitatius en el disseny dels nous barris i escenaris de relació, la substitució

de la idea d'extensió per les de cohesió i integració són algunes de les hipòtesis formulades.

Una segona part, a escala edificatòria, enfocada des de l'anàlisi dels paràmetres de sostenibilitat aplicats al projecte arquitectònic —edificatori i constructiu— amb especial referència a factors específics d'estalvi i generació de recursos, gestió material i concepció responsable i innovadora, especialment associats als cicles de l'energia, de l'aigua, de la matèria i dels residus i a criteris de salut, confort i habitabilitat, particularment significants, així com a les noves dinàmiques que comencen a establir-se avui entre innovació tecnològica, sistemes industrials i processos de projectació i disseny integrats, susceptibles d'afavorir una construcció i una concepció espacial adequades.

Una tercera part, a escala de la llar, aborda la temàtica de l'habitatge des de l'àmbit domèstic, conjugant alhora, a nivell d'usos i d'usuaris, les relacions amb l'ambient i els espais funcionals i socials de l'habitatge, aspectes relacionats amb els consums i els comportaments, les economies i les gestions de la llar, els indicadors socioespacials de qualitat ambiental associats i l'estudi d'inèrcies, mesures i regulacions completen aquest apartat.

Introducció. Consideracions inicials. Metodologia i vectors de qualitat ambiental

L'actual i decisiva importància dels factors vinculats a la sostenibilitat en els camps de la planificació urbana i territorial, de la construcció i l'edificació i, evidentment, en els de la cultura d'una nova societat de la informació i, per tant, d'una interacció intel·ligent amb el medi, obliga avui a repensar els paràmetres tradicionals amb els quals s'han anat encarant aquests processos, en relació a les decisives implicacions que tenen en els camps de l'habitatge, de l'arquitectura i de d'urbanisme en general i, per tant, en els del disseny i la projectació material del nostre propi hàbitat, i la repercussió que causen en àmbits com els de la planificació, l'edificació i la construcció, la recerca tecnològica i la regulació dels espais, dels usos i dels hàbits, més enllà de les velles inèrcies operacionals.

Encara que —atesa la implantació recent— no existeix una perspectiva avaluadora suficient sobre les conseqüències de les mesures legals i normatives recents (DEE, CTE, etc.), destinades a afavorir un millor desenvolupament sostenible en l'edificació i la projectació territorial i urbana, aquest resulta, tanmateix, un moment clarament adequat per sintetitzar possibles reflexions referencials sobre els últims anys de construcció residencial al nostre país, sobre les dinàmiques, les inèrcies i la possible evolució qualitativa d'aquestes mesures.

En aquest sentit, de la mateixa manera que els anys 2003 i 2004 es va promoure a Catalunya, des del CADS (Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible) la creació del Grup d'Experts en Canvi Climàtic a Catalunya (GECCC) —i la realització del primer *Informe sobre el Canvi Climàtic* (2005)— la possibilitat d'afavorir la formació d'un estudi sobre l'evolució de l'habitatge i de la planificació urbana i territorial, amb criteris de sostenibilitat, va permetre reunir, durant els últims dos anys i entorn al projecte *Cap a un habitat(ge) sostenible* (2007-2009), els treballs d'una àmplia selecció de professionals i científics de referència, destinats a formular un virtual «estat de l'art» —o estat de la qüestió—

sobre aquest assumpte i, per tant, matèria de debat i reflexió¹.

La metodologia posada en pràctica a l'hora d'establir els àmbits i factors d'avaluació sostenible plantejats, així com els criteris de formulació i d'aplicació emprats, ha tingut en compte l'anàlisi comparativa i ponderada d'alguns documents d'elaboració i/o construcció recents a Europa (DEE —Decret d'Ecoeficiència en l'Edificació— i informes de l'ITEC, de l'Institut Cerdà i del Fòrum Barcelona Sostenible, a Catalunya; CTE —Código Técnico de la Edificación, a Espanya; *Projet HQE* —*Haute Qualité Environnementale*— de la República francesa, *Spear Project* al Regne Unit, etc.), així com una relectura pròpia i sintètica d'aquestes aportacions, dirigida a significar un conjunt de vectors estructuradors, tant en els camps de l'urbanisme «residencial», com en els de la construcció i l'habitatge a escales diverses.

L'anàlisi comparada dels valors i forteses, així com de les mancances i debilitats de cada una de les diferents aproximacions considerades, ha permès establir una primera classificació dels vectors de sostenibilitat aplicats a l'habitatge, vist aquest concepte en totes les seves dimensions (habitat, habitatge, habitació, habilitació i habitabilitat) i escales (territori, ciutat, conjunt urbà, edifici i llar).

Si la majoria de paràmetres i indicadors habituals en el camp mediambiental tendirien a centrar-se en factors de sostenibilitat mesurables, també s'ha volgut incorporar possibles factors de qualitat ambiental perceptibles, en un conjunt sistema de vectors susceptibles de conjugar quantificació i qualificació amb criteris i llindars de desenvolupament.

L'ús dels indicadors habituals en l'avaluació mediambiental, a l'hora de mesurar efectes, comportaments i fenòmens específics, destinats a ponderar i determinar els diversos processos relacionats amb la transformació dels nostres entorns, i dels efectes mediambientals i climàtics (petjada

1. *Informe Cap a un habitat(ge) sostenible*. Manuel Gausa, (coord). Barcelona: Generalitat de Catalunya Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya, 2010.

ecològica, emissions de CO₂, nivells de consum de recursos —energia, aigua, sol... — que tenen, s'ha conjugat aquí amb un abordatge «crític», basat en la parametrització de diversos elements qualitatius d'aproximació mediambiental i projectual.

En aquest sentit, s'ha valorat la claredat conceptual dels grans àmbits estructuradors associats als quatre elements naturals —foc, aigua, terra i aire—, i els cicles referencials que hi estan virtualment relacionats (energia, aigua, matèria i residus, confort, salut i habitabilitat), recollits en les recomanacions de l'ITEC i, posteriorment, en el mateix Decret d'Ecoeficiència de l'Edificació (DEE) i en el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE), que conformen el marc referencial de la majoria d'indicadors objectivables habituals en les anàlisis ecourbanes, incorporant-hi altres vectors específics, complementaris i decisius a l'hora d'avaluar aspectes fonamentals en la construcció dels nostres entorns habitats; vectors relacionats amb la capacitat d'afavorir processos d'interacció positius amb el paisatge i el medi i amb la societat i la ciutadania; així com amb factors de connectivitat i d'accessibilitat, de gestió i d'economia, de diversitat i mixticitat i, per últim, de disseny innovador, flexible i integrat.

La parametrització proposada en l'estudi *CHS-Cap a un habitatge sostenible* considera deu vectors d'avaluació crítica, estructurats a partir de quatre vectors bàsics, presents a totes les escales i nivells d'intervenció, i sis vectors destacats, amb una importància relativa derivada de la mateixa escala de definició, segons la següent articulació:

1. Cicle de l'energia: estalvi i captació

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a garantir un correcte cicle de l'energia, amb reducció de consums i d'emissions de CO₂ i impuls a l'ús d'energies renovables.

2. Cicle de l'aigua: estalvi i reaprofitament

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a garantir un correcte cicle de l'aigua, amb reducció de consums i reutilització de cabdals.

3. Cicle de la matèria i gestió de residus: optimització i reutilització (reciclatge)

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a garantir un correcte cicle de la

matèria afavorint sistemes constructius de baix impacte, més racionals i/o reversibles, potenciant la regeneració.

4. Confort/salut/habitabilitat: qualitat espacial i ambiental

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a garantir la qualitat i salut ambientals.

5. Entorn/context/paisatge: interacció amb el medi

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a afavorir protocols d'interacció/integració qualitatius amb l'entorn.

6. Participació ciutadana: interacció social

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a assegurar una adequada dimensió social.

7. Accessibilitat i circulacions: proximitat i/o connectivitat

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a afavorir models integrats de mobilitat, accessibilitat i proximitat.

8. Equilibri econòmic: relació ponderada cost/benefici

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a garantir protocols de ponderació, racionalitat i viabilitat econòmiques.

9. Diversitat/mixticitat/complexitat: varietat tipològica i funcional

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a garantir la densitat i pluralitat de relacions.

10. Disseny (pro)positiu, flexible i integrat: concepció transversal (tecnologia/creació/cultura/innovació).

Concepció, disseny i gestió de processos destinats a garantir protocols de disseny intel·ligent basats en una concepció global dels processos i dels espais.

La consideració d'aquests vectors i de les diverses (i diversificades) maneres de formular-los (i/o de mesurar-los) diagonalitza els tres grans àmbits anteriorment descrits i permet analitzar i avaluar els diferents graus d'abordatge i resposta sostenibles, així com la interacció que efectuen amb els factors de desenvolupament sostenible (i canvi climàtic) que aquí ens ocupen.

PARÀMETRES I CRITERIS METODOLÒGICS DE RECERCA DEL CADS-CHS

Els paràmetres de sostenibilitat de la recerca CADS-CHS es basen en 10 grups, 4 de referits als cicles bàsics, presents a totes les escales i 6 altres que cobren més o menys importància en funció dels àmbits i les escales d'actuació.

Paràmetres bàsics**1 CICLE DE L'ENERGIA****1- Cicle de l'energia: estalvi i captació**

Objectius: garantir un cicle de l'energia correcte amb reducció de consums i d'emissions de CO₂

- Reducció de la demanda energètica
- Materials: reducció de despeses energètiques i d'emissions de CO₂
- Optimització i millora del confort i de l'aïllament tèrmic (orientacions i assolament, ventilacions creuades, solucions amb reduccions del coeficient de transmissió, etc.)
- Aplicació de sistemes integrats d'energia, calefacció i refrigeració
- Eficiència de les instal·lacions i dels equipaments
- Captació: ús d'energies renovables (climatització i calefacció)
- Gestió global del cicle de l'energia

2 CICLE DE L'AIGUA**2- Cicle de l'aigua: estalvi i reaprofitament**

Objectius: garantir un cicle de l'aigua correcte amb reducció de consums i reutilització de cabals

- Reducció de la demanda general
- Utilització de sistemes de captació i reciclatge
- Eficiència de les instal·lacions i dels equipaments
- Consideració i control dels sistemes d'escorrenties
- Gestió global del cicle de l'aigua

3 CICLE DE LA MATÈRIA I GESTIÓ DE RESIDUS**3- Cicle de la matèria i gestió de residus: optimització i reutilització (reciclatge)**

Objectius: garantir un cicle de la matèria correcte afavorint sistemes constructius més racionals i reversibles

- Utilització de materials de baix impacte, de bon manteniment i reposició.
- Adopció de materials provinents de reutilització i/o reciclatge.
- Aplicació de sistemes de desmuntatge, industrialitzats, preindustrialitzats i/o reversibles.
- Concepció integrada dels processos de fabricació i construcció amb sistemes de filtratge, ventilació, protecció i aïllament preferentment naturals.
- Reducció i posada en valor de la producció de residus. Reducció i reciclatge globals.
- Potenciació de la rehabilitació.
- Organització i gestió d'obres eficient, racional i de baix impacte.

4 CONFORT/SALUT/HABITABILITAT**4- Confort / salut / habitabilitat: qualitat espacial i ambiental**

Objectius: garantir la qualitat i salut ambientals

- Consideració de factors d'orientació, de clima, de temperatura i d'humitat de l'espai (qualitat de l'aire).
- Consideració de factors associats a la llum natural (assolament, il·luminació i percepció visual).
- Consideració de factors associats al so (control acústic i percepció auditiva).
- Consideració de factors associats a l'olor (nivells de confort i percepció olfactiva).
- Minimització de l'exposició a ones i camps electromagnètics.
- Minimització de les emissions de compostos químics.
- Minimització de la presència i incidència d'elements nocius o tòxics i de risc en general.

Paràmetres complementaris**5 ENTORN / PAISATGE / MEDI****5- Entorn / context / paisatge: interacció amb el medi**

Objectius: afavorir processos d'interacció / integració qualitatius

- Aplicació de models d'ocupació –i de desenvolupament– ponderats.
- Minimització del consum de sòl i de paisatge natural.
- Adopció de processos qualitatius d'interacció/integració urbana i paisatgística (noves equacions «habitatge, reciclatge, paisatge»).
- Relació positiva dels edificis amb el medi i el context (creació d'una identitat arquitectura/medi).
- Consideració del factor vegetal –i/o natural– com a part del disseny.

6 INTERACCIÓ SOCIAL**6- Participació ciutadana: interacció social**

Objectius: assegurar una dimensió social adequada

- Reforç dels lligams socials (integració, relacionabilitat, intercanvi).
- Potenciació del plaer de viure (interaccions benestar actiu/oci positiu).
- Generació d'una cultura activa (noves equacions habitatge/producció/lleure).
- Valoració social (autoestima urbana).
- Atenció correcta a les necessitats dels usuaris.
- Adequada relació ciutadana en els processos participatius.

7 MOBILITAT / ACCESSIBILITAT**7- Mobilitat i circulacions: accessibilitat i/o connectivitat**

Objectius: afavorir models integrats de mobilitat, d'accessibilitat i de proximitat

- Potenciació d'una bona distribució global i local (circulació i accessos).
- Promoció dels transports públics i connexions de vianants (transport i connexions).
- Proximitat de serveis i mixicitat d'usos i funcional (proximitat i mixicitat).
- Bona accessibilitat general als llocs, als espais i als edificis.

8 GESTIÓ ECONÒMICA**8- Gestió econòmica: relació equilibrada cost/benefici**

Objectius: garantir processos de ponderació, racionalitat i viabilitat econòmics.

- Relació racional i ponderada entre costos i beneficis.
- Adopció de processos de control i viabilitat globals.
- Dinàmiques de contenció i control pressupostari.

9 DIVERSITAT / MIXTICITAT / COMPLEXITAT**9- Diversitat/mixticitat/complexitat: varietat tipològica i funcional**

Objectius: afavorir la densitat i pluralitat de relacions

- Generació d'escenaris de diversitat oberts a l'intercanvi, la integració i la interacció.
- Simultaneïtat i riquesa de relacions des de la mixticitat espacial i funcional.
- Generació de nous escenaris per a una cultura activa (noves equacions habitatge/producció/lleure).

10 DISSENY FLEXIBLE I INTEGRAT**10- Disseny flexible i integrat: concepció transversal (tecnologia/creació/cultura/innovació)**

- Adopció de solucions globals amb capacitat d'integrar al màxim els àmbits i paràmetres esmentats anteriorment.
- Concepció de solucions versàtils, adaptables i evolutives en el temps (projectar l'espai amb el temps).
- Potenciació d'una relació sensorial, imaginativa i estimulante del ciutadà amb el seu medi.
- Potenciació d'una cultura proactiva, sensible, atenta i respectuosa, i oberta a la vegada a factors de creativitat i d'innovació (progrés evolutiu, equilibri tradició/innovació, preservació/transformació).
- Resposta innovadora a les diverses equacions forma/espais/tipus de vida.

24.1. Primera part. Escala urbanística: territori-ciutat, hàbitats i habitatges: models d'ocupació, models d'articulació i models de desenvolupament

24.1.1. El paper de la concepció territorial en el context del canvi climàtic²

Les ciutats són avui les principals responsables del consum de recursos naturals, de la degradació dels ecosistemes i de la majoria de formes de contaminació a nivell planetari, a causa de la creixent concentració en les àrees urbanes de la població i de l'activitat econòmica.³

L'acumulació de diòxid de carboni en l'atmosfera, i el reforçament antropogènic de l'efecte hivernacle que produeixen els actuals metabolismes urbans, constitueix la manifestació evident d'unes emissions que superen de molt la capacitat d'absorció i emmagatzematge dels boscos terrestres a través del seu creixement. El mateix consum de combustibles fòssils i el consum de paisatge i naturalesa (amb una desforestació cada

vegada més gran provocada pels canvis en l'ús del sòl) evidencien un procés creixent de depredació i depreciació planetària. Segons el Grup Internacional d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC), cada any es llancen a l'atmosfera prop de 22.000 milions de tones de CO₂, de les quals aproximadament la meitat s'afegeixen als aproximadament 625.000 milions de tones acumulades des dels inicis de la Revolució Industrial. Aquesta quantitat és unes quatre vegades més gran del que poden absorbir el creixement de les masses forestals i dels oceans, que l'IPCC estima en unes 5.500 tones de CO₂ a l'any. Aquestes 5.500 tones de CO₂ absorbibles i/o acumulables anualment constitueixen, segons aquestes estadístiques, el nivell màxim d'emissions sostenibles.

Una política orientada a aturar l'escalfament planetari hauria de limitar les emissions dels 5.700 milions d'habitants actuals del món a una tona de CO₂ per persona i any com a màxim. A Catalunya s'emeten més de quatre tones de CO₂ per persona i any, i a tot Espanya, prop de set (la

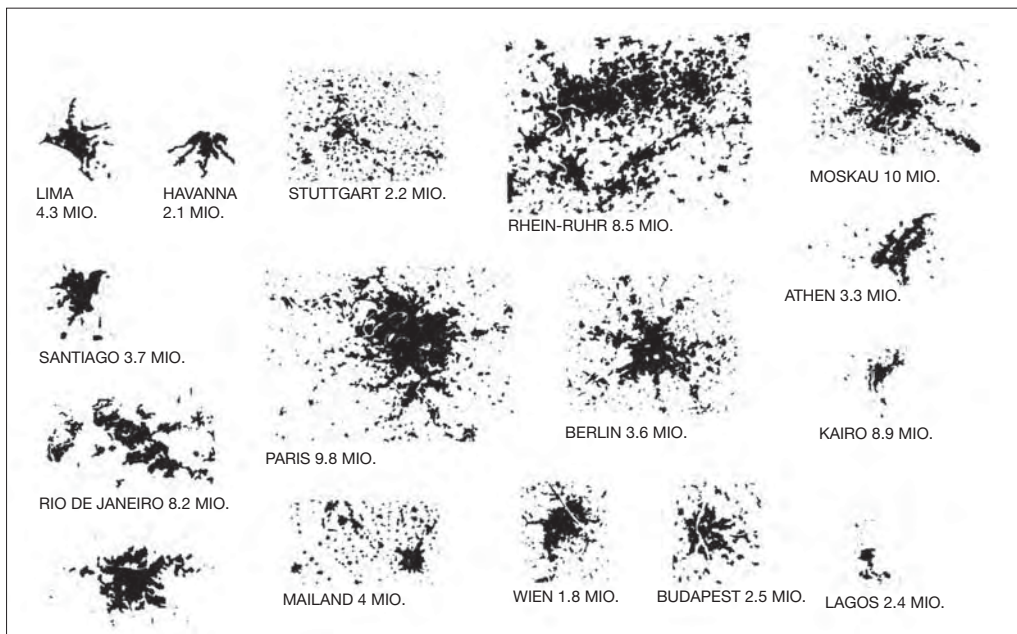


Figura 1. Un continent, un territori o una regió com una ciutat. Mapes d'imatges per satèl·lit convertides en abstracció B/N, a *Topos*, núm. 17, 1996, *Arch+* núm. 121, 1994.

Font: Manuel Gausa, «De la metròpolis a la metàpolis», *Quaderns*, núm. 213, 1996.

2. Apartat a càrrec de Manuel Gausa (coord. gral.).

3. Vegeu <www.miliarium.com/Proyectos/Agenda21/Anejos/SostenibilidadGlobal/Huellaecologica2.asp>.



Figura 2. Procés d'evolució polinuclear a la taca de creixement de Barcelona.

Font: Manuel Gausa, «De la metròpolis a la metàpolis», Quaderns, núm. 213, 1996.

diferència es deu a una altra qüestió ambiental: gairebé tres quartes parts de l'electricitat consumida a Catalunya són d'origen nuclear, mentre la mitjana espanyola només és d'un terç). Fins a mitjan segle XXI, la majoria d'estudis assenyalen que les nostres emissions haurien de reduir-se, doncs, en un 80%, a fi d'evitar un canvi climàtic d'efectes conflictius.⁴

Les actuals dinàmiques exponencials del creixement urbà acaben tensant i dificultant —de manera aparentment irreversible— els mateixos marges de correcció, revisió i reajustament en un procés complex d'acció sense (pràcticament) capacitat de reacció.

24.1.2. Ciutat compacta - ciutat difusa - ciutat entrellaçada

24.1.2.1. Mutacions i taques de tinta. De la ciutat recinte a la ciutat xarxa. Catalunya multicuat⁵

Els últims 30 anys han representat, de fet, un salt espectacular en la comprensió de ciutats i

territoris. L'acceleració creixent de les condicions de mobilitat i intercanvi han evidenciat, cada vegada de manera més explícita, la natura dinàmica dels sistemes urbans i la seva nova dimensió geourbana. La nova ciutat (o multicuat) ja no és aquella illa —harmònica, bucòlica, familiar, perfectament delimitada sobre el territori—, sinó un conjunt cada vegada més complex i volàtil que, de manera similar al de qualsevol sistema interactiu desenvolupat sota la influència de moviments diversos, acaba manifestant-se com el resultat paraplànic de successius esdeveniments amb —i sense— voluntat de planificació.⁶

Aquest és un fenomen d'explosió o difusió urbanes, compartit a escala mundial, que presenta a escala macroscòpica decisives similituds d'espectre, però que es materialitza, també, mitjançant clares diferències locals; perquè, de fet, el principal interès d'aquest procés genèric no radica tant en la mateixa analogia i verificació del patró comú, com en les múltiples situacions de variació, mutació i/o transformació que acaben mutant aquesta condició sistemàtica i universal, declinant-la cap a les condicions pròpies i específiques d'un context geogràfic, morfològic, estratègic, cultural o ambiental, únic, particular, diferencial i definitivament singular.⁷

En el cas de Catalunya, un espectre de llum B/N del territori ocupat ens revela un mateix tipus de constel·lació irregular, dispersa i polifocalitzada a un temps, que presenta, en el nostre país, alts graus de concentració al Barcelonès i al Vallès, i una estela filamentosa a tota la costa (especialment al Maresme, a la Cosa Brava i a la de Tarragona), així com focus d'intensitat interior amb aurèoles de dispersió de fronteres ambigües, relacionades, discontinuament, en aquesta gran nebulosa en què límits, territoris i ciutats es con-

4. Vegeu Tello, Enric. «Principios e indicadores para ciudades más sostenibles», a *Inguruak. Revista de Sociología*. Sociedad Vasca de Sociólogos, Vizcaya, 1986.

5. Apartat a càrrec de Manuel Gausa (coord. gral.), Salvador Rueda, Francesc Muñoz, Ivan Muñoz i Daniel Calatayud.

6. Vegeu Kraft, Sabine: «La périphérie: mobilité et projet urbain» a *Construire la ville sur la ville*, catàleg European, ed. European, París 1995 i a *Quaderns* núm. 218, 1997, p. 50.

7. Vegeu Batty, Michael. «Sobre el crecimiento de la ciudad» a *Fisuras* núm. 5, 1997, p. 6.

fonen en una gran geourbanitat⁸ o terriurbanitat⁹ difusa i multinuclear.

La interpolació de dades generaria, de fet, una Catalunya comparable, a nivell de tot el país, amb altres realitats metropolitanes de població similar com el Madrid Anular, el gran Milano, el Randsstad holandès o el Greater London, i escenaris semblants en superfície com Bèlgica, Irlanda, Sicília, etc. que permetrien ponderar l'autèntica definició de Catalunya (país?, regió?, ciutat?) i plantejar aquelles característiques geoestratègiques més eficaces a l'hora d'abordar i descriure'n el propi sistema territorial, no tan sols a escala local, sinó des d'un complex conjunt de factors globals i locals, imbricats, que estirarien o contraurien les seves fronteres (reals i virtuals) més enllà de mecanismes estàtics d'identitat o delimitació, transformant els territoris físics en territoris elàstics definits segons el grau d'incidència o d'importància de les relacions implicades.

Des del punt de vista de l'ocupació territorial a Catalunya, se situava, l'any 2003, al voltant del 5,39% (unes 175.418 ha, davant de les 6.361.000 ha totals). Una extrapolació purament lineal de les tendències acumulades indicaria una progressiva ocupació de totes les planes de Catalunya (8.588.574 ha) cap a l'any 2080. Catalunya és un sistema altament muntanyós, amb unes 8/11 planes —segons els autors— que aglutinen les principals concentracions de població i activitat en només 2.200 km² d'extensió (i els usos agrícoles, en uns 3.600 km²), de manera que, si avui només el 5,39% del territori apareix urbanitzat, això no impedeix destacar l'alta intensitat d'ús que revelen aquells espais hipotèticament urbanitzables.¹⁰

Catalunya es revelaria, en aquest sentit, com una geografia relacional rica, amb una gran diversitat natural i una notable densitat d'espais habitats plurals, encara que no gaire diferents, en processos de desenvolupament, d'altres i com-

plexos politerritoris de relació destinats, aparentment, tal com assenyala Salvador Rueda, a afavorir la implantació dispersa d'usos i funcions en el territori buscant la major rendibilitat econòmica entre usos i ubicació:¹¹

Bona part de les ciutats i regions metropolitanes europees han duplicat, en menys de 30 anys —i en ocasions triplicat—, l'ocupació del sòl urbà amb relació a la història anterior. Un procés destinat a separar funcions en l'espai, segregar socialment la població dins del territori i segmentar potencialitats i capacitats econòmiques. Aquesta segregació espacial de les funcions a la ciutat, augmenta, en efecte, les distàncies relatives i imposa l'ús del vehicle públic i, sobretot, privat sobre la resta dels mitjans de transport. La combinació entre la dispersió edificatòria que imposa la ciutat difusa i la necessitat de transport de persones, matèria i energia dona com a resultat un ús massiu dels mitjans de locomoció, així com un augment de la congestió infraestructural i de les variables que hi estan relacionades: emissió de gasos a l'atmosfera, superfície exposada a nivells de soroll inadmissibles, nombre d'accidents i nombre d'hores laborals perdudes en desplaçaments, consum de sòl i de paisatge, etc... en un procés dinàmic i exponencial que amplia el problema de la congestió i les variables que l'acompanyen i el deriva cap a superfícies cada vegada més grans. El transport es revela com un dels principals generadors de consum d'energia i de contaminació atmosfèrica; aquesta augmenta, generalment amb la velocitat, perquè suposa un consum d'energia més gran que, al mateix temps, genera una quantitat superior de molècules de carboni oxidades, de CO₂ i CO, de nitrogen, NO_x, i d'altres que s'emeten a l'atmosfera.

Al mateix temps, la proliferació de les xarxes de mobilitat és la causa d'una profunda insularització dels sistemes naturals i biològics, sovint segregats en espais desconnectats, amb la conseqüent simplificació i degradació dels ecosistemes naturals. La mobilitat horitzontal és la que provoca avui un consum energètic més elevat, dissipat en forma d'escalfor i de contaminants atmosfèrics i és, també, la inductora d'un consum de sòl més gran i, per tant, d'una simplificació dels sistemes naturals en el

8. Vegeu Gausa, Manuel: «Hiperterritorios-multiciudades-geourbanidades», a Gausa, Manuel, Gualart, Vicente i Muller, Willy, *HyperCatalunya, Territorios de Investigación*, Generalitat de Catalunya, 2003.

9. Accepció de Francesc Muñoz. Vegeu Muñoz, Francesc: *Urbanización*, ed. Gustavo Gili, Barcelona, 2008.

10. Segons dades de l'Institut d'Arquitectura Avançada de Catalunya i Idescat, 2003.

11. Vegeu Rueda, Salvador. «Models d'ordenació del territori més sostenibles (o un nou urbanisme per a abordar els reptes de la societat actual)» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2009. Vegeu també: Rueda, Salvador. *Modelos de ordenación del territorio más sostenibles*. Conferència impartida en el Master Intelligent Coast, Barcelona 2008.

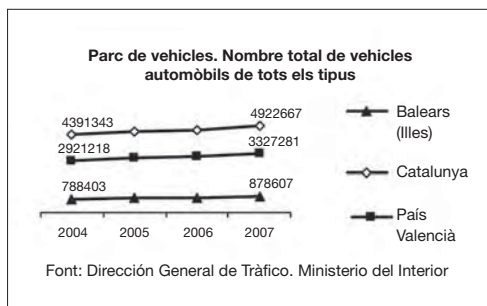


Figura 3. Catalunya 2004: 4.191.343 vehicles. Catalunya 2007: 4.922.667 vehicles.

nostre entorn. La dispersió i separació espacial de funcions complica alhora el subministrament de serveis tècnics: gas, aigua, clavegueram, telèfon, electricitat o fibra òptica, ja que conforma xarxes expansives conjugades amb les infraestructurals, que multipliquen alhora el consum i l'entropia del sistema. A través de la progressiva expansió de la ciutat i a través de l'especialització funcional —grans espais dedicats a una única activitat— s'incrementen les distàncies, les velocitats i, en conseqüència, l'energia consumida per tal d'afavorir els intercanvis en un procés aparentment imparabile.¹²

Els costos ecològics de l'organització dels temps i els espais urbans al servei del trànsit motoritzat són ben coneguts: tots els informes sobre el medi ambient a Europa repeteixen any rere any que l'expansió del transport anul·la qualsevol progrés assolit en altres àmbits en matèria de control de l'ús d'energia, reducció de l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle i solucions satisfactòries a la contaminació atmosfèrica local.¹³

En aquest sentit, el consum d'energia a Catalunya (segons l'*Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana*, publicat pel CADS) assenyala un 26% de l'energia primària i un 38,7% de l'energia final destinats al transport (quasi un terç del consum energètic del país).

Davant de les habituals dinàmiques de dispersió urbana, l'alternativa més habitualment contraposada ha estat la del model de ciutat compacta, associat sovint al de la ciutat tradicional, històrica i/o mediterrània:

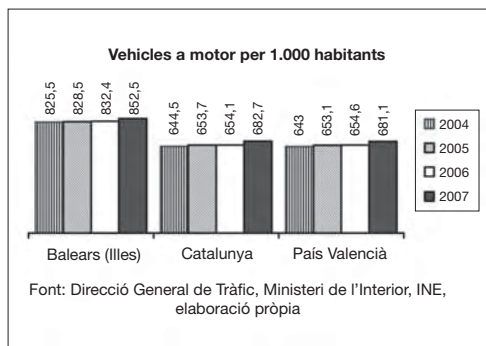


Figura 4. Catalunya 2004: 644,5 vehicles a motor / 1000 habitants. Catalunya 2007: 682,7 vehicles a motor / 1000 habitants.

Font: Martínez Iglesias; Mercedes; García, Ernest. «Tres notes sobre sostenibilitat urbana i formes de vida», a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2010.

Davant del model de la ciutat difusa, la ciutat compacta mediterrània garanteix una major complexitat i cohesió social gràcies a la proximitat de les diferents funcions, així com un major estalvi de sòl, d'energia, de recursos naturals i de temps.¹⁴

Al contrari que la ciutat polidifusa, la ciutat monocompacta permetria —tal com s'ha assenyalat en més d'una ocasió— afavorir un menor consum energètic i d'espai, així com la mixticitat de programes, funcions i contactes o, dit d'una altra manera, augmentar la complexitat disminuint la mobilitat obligada, propiciant alternatives més variades de transport individual i col·lectiu (zones de vianants, Bicing, etc.) susceptibles d'assegurar els intercanvis amb impactes més controlats, i

14. En este sentido, si comparamos los diversos aspectos del aprovisionamiento semanal de dos hogares tipo, con una carga de 30 Kg de productos y envoltorios, podremos comprobar como en el caso de los modelos urbanos llamados de «dispersión», la compra se efectúa una sola vez en un hipermercado de la periferia a 5 Km del domicilio, con un trayecto se hace en vehículo privado, mientras que el hipermercado se abastece a través de camiones de 40 t. En los escenarios de «proximidad», la compra se hace tres veces a la semana, en un supermercado a 500 metros de la vivienda; abasteciéndose (6t.) este supermercado con camiones camiones de 12 t., que provienen de una plataforma logística situada a 10 Km, en la periferia. Las diferencias que arrojan ambos escenarios son abrumadoras, el escenario 1 registra un consumo energético 40 veces superior al escenario 2, multiplica por 100 los contaminantes, por 67 el espacio ocupado y por 20 el ruido generado. Vegeu <www.miliarium.com/Proyectos/Agenda21/Anejos/SostenibilidadGlobal/Huellaeologica2.asp>.

12. *Ibidem* nota 11.

13. Martínez Iglesias, Mercedes; García, Ernest. «Tres notes sobre sostenibilitat urbana i formes de vida» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2010.

també menors sobre el medi i els sistemes naturals i afavorint una interacció eficient de capes funcionals superposades, més que juxtaposades.

En aquest sentit, la dicotomia entre ciutat difusa i ciutat compacta, per bé que plantejada inicialment en els àmbits tradicionals dels grans desenvolupaments metropolitans (oposant l'expansió porosa de la gran ciutat a la seva possible retracció) ha acabat implicant els múltiples processos de segmentació i disgregació, que afecten avui la major part de realitats municipals, a major o menor grau.

Les grans ciutats s'han fragmentat, en efecte, en nous entorns policentrals amb polaritats menors i discontinües, que alhora es dissolen en urbanitzacions discontinües, que produeixen sistemes complexos d'interacció entre paisatges, densitats i noves centralitats, necessàriament plantejats en altres termes que els de la simple confrontació entre la ciutat perimoderna (productiva i material) i la ciutat neotradicional (ritual i relacional).

El mateix procés de dispersió geourbana que aquí ens ocupa ja no segueix —tal com indica Francesc Muñoz—¹⁵ els models clàssics radio-cèntrics i unijeràrquics, sinó que, més enllà de la famosa taca d'oli uniforme, es conforma més aviat a partir d'un sistema de taques d'oli multiplicades, que selecciona territoris i paisatges en funció de l'accessibilitat a les xarxes o als espais a l'abast amb valor paisatgístic. Moltes vegades, els processos afecten nuclearitats intermèdies que han atret poblacions derivades dels elevats preus residencials propis dels grans centres urbans, renunciant a la «gran ciutat» a canvi de metres quadrats d'habitatge individual o adossat i verd privat en unes dinàmiques que, més que als models clàssics de ciutat jardí, recordarien més als suburbis americans de fa mig segle.

A Catalunya, com en la majoria de grans multiciutats europees, s'ha generat així un paisatge repetit i clonat, a la manera d'una gegantina cinta de Moebius, fet d'illes urbanes uniformes, enllaçades per rotondes, espais comercials i benzineres-botiga. Un paisatge dispers de cases adossades, que es-

quitxen quilòmetres vora les autopistes i variants locals. Un paisatge que mostra a bastament la versió més crua del que he anomenat urbanització: un tipus d'urbanització convencional independent del lloc i, per tant, replicable arreu, de manera que la forma urbana deixa de representar cap contingut cultural o simbòlic per a la col·lectivitat que, suposadament, s'hi hauria de sentir identificada.

Aquesta dispersió de les residències es tradueix en xifres espectaculars: així, tant sols les cases unifamiliars van representar més de la meitat de l'habitatge nou construït a 8 de cada 10 municipis de la província de Barcelona entre el 1987 i el 2001.¹⁶

En aquest sentit, el període 2002-2005 mostrava molt clarament que fins i tot els municipis més petits, per sota de 1.000 habitants, amb una tradició de construcció estable però amb nivells baixos, estan començant a especialitzar-se en la producció d'habitatge unifamiliar adossat en molts casos de manera força intensa. Les anàlisis a escala municipal mostren la coincidència general —i previsible— entre els llocs on més habitatge en bloc o mansana es construeix, i els llocs caracteritzats per una major producció d'habitatge unifamiliar. La costa, les capitals comarcals de segona i tercera corona com Vilafranca, Igualada, Manresa o Vic destaquen juntament amb els espais caracteritzats per un procés de metropolització ja madur (com passa amb l'àrea central de contacte entre el Barcelonès i el Vallès Occidental). S'ha d'esmentar, però, les diferències que es registren entre els municipis que construeixen més cases adossades i els que edifiquen més cases aïllades. Mentre que els habitatges adossats es concentren als espais ja esmentats, les cases aïllades presenten nínxols territorials certament diferents, on s'inclouen territoris propers a zones forestals i naturals com s'observa al Vallès Oriental —al corredor de Lliçà d'Amunt—, o al Baix Llobregat —als municipis del Garraf-Ordal. Malgrat produir-se de forma fragmentada i discontinua, o més ben dit, precisament per això, aquesta urbanització del territori ha provocat un continu consum de sòl i deixa en herència un territori que es caracteritza per ser absolutament insostenible. En aquesta insostenibilitat sostinguda, els creixements en els parcs d'habitatge unifamiliar, especialment, han estat constants durant les dues últimes dècades any rere any i municipi a municipi.

15. Vegeu Muñoz, Francesc. «Territoris i hàbitats sostenibles, estratègies d'ocupació, sinèrgies d'urbanització» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2010. Vegeu també MUÑOZ, Francesc, *Urbanización*, Gustavo Gili, Barcelona, 2008.

16. Segons resultats de recerques elaborades des de l'Observatori de la Urbanització per al Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya. Vegeu Muñoz, Francesc. «Territoris i hàbitats sostenibles, estratègies d'ocupació, sinèrgies d'urbanització» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2010.

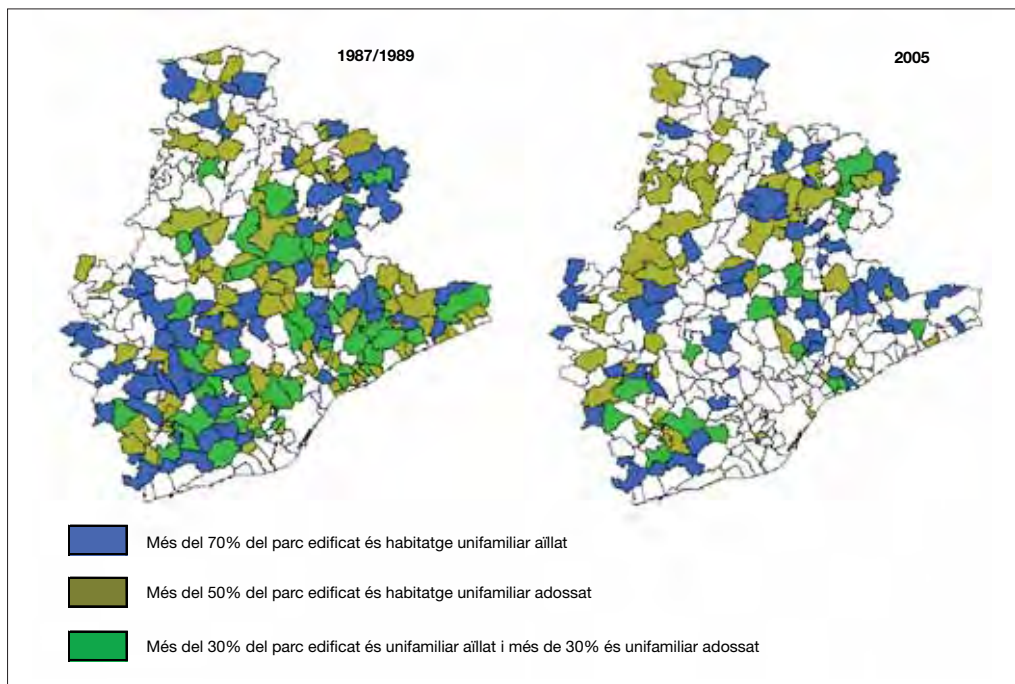


Figura 5. Perfils d'especialització residencial. Municipis de la ciutat de Barcelona. Font: Observatori de la Urbanització (UAB) Font: Muñoz, Francesc, «Territoris i hàbitats sostenibles, estratègies d'ocupació, sinèrgies d'urbanització» a Cap a un habitat(ge) sostenible, CADS, 2009.

En aquest context, les fronteres —i les interaccions— entre ciutat i ciutats, territori i territoris i, especialment, entre poblacions i dispersions —globals i locals— resulten ambigües i confuses. Observant els processos anteriorment exposats d'una manera àmplia i genèrica, caldria que reflexionéssim —tal com assenyalen Ivan Muñoz i Daniel Calatayud¹⁷ sobre els criteris objectius, urbans i interurbans, amb què certifiquem el grau de sostenibilitat dinàmica de la ciutat contemporània, a totes les escales, i intentar definir —o avaluar— millor aquests conceptes:

La major part de la literatura sobre sostenibilitat urbana sosté que la ciutat compacta és més sostenible que la ciutat difusa. Al cap i a la fi, els arguments utilitzats per respondre afirmativament a aquesta qüestió semblen bastant raonables. La dispersió urbana ('urban sprawl') se sol equiparar amb la baixa densitat o, almenys, amb una densitat dilatada, fet

que suposa una elevada presència d'habitatges unifamiliars aïllats i adossats que, atès que ocupen més espai, i també per la tipologia que els caracteritza, impliquen més materials i més energia incorporada en aquests materials, una ocupació de sòl i uns consums energètics més grans (per escalfar-les, il·luminar-les i refrigerar-les) així com un major consum d'aigua.

A més, aquesta densitat dilatada es tradueix en uns desplaçaments més llargs duts a terme principalment amb l'automòbil. No obstant això, alguns treballs recents han plantejat la possibilitat que aquesta relació entre densitat i sostenibilitat no sigui tan clara quan s'incorpora en l'anàlisi de la mobilitat la produïda durant el cap de setmana i el període vacacional. Segons la **hipòtesi de la compensació**, l'estalvi energètic associat a una densitat concentrada o elevada pot ser més que compensat durant els caps de setmana (una necessitat i una tendència més grans a posseir una segona residència) i durant les vacances (desplaçaments més llargs i sovint en avió). Si viure en condicions d'elevada densitat comporta una volució més gran de contacte amb la natura i una tendència a viatjar «cap a l'exterior», llavors la relació entre densitat i sostenibilitat pot ser bastant més complexa del que podríem significar en un principi.

17. Vegeu Calatayud, Daniel; Muñoz, Ivan, «Sostenibilitat, ciutat compacta i ciutat dispersa» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2010.

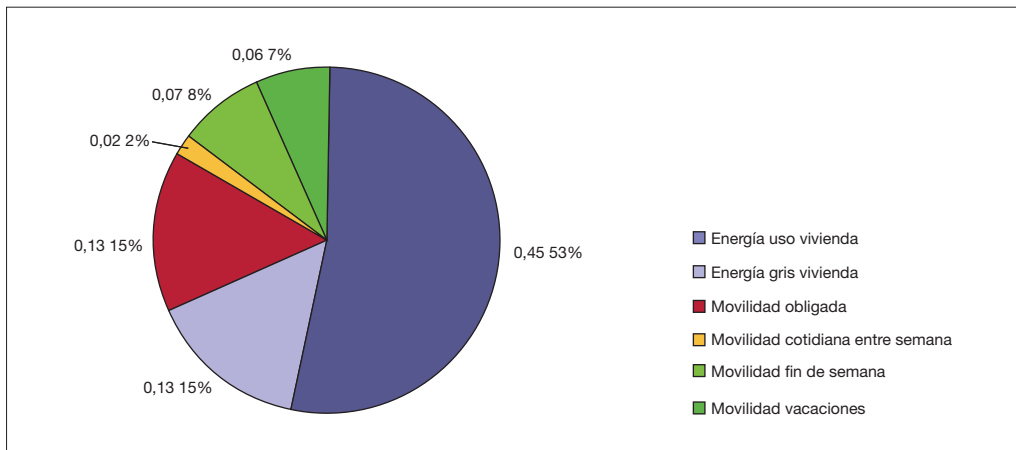


Figura 6. Catalunya, petjada ecològica, mobilitat i habitatge

Font: Calatayud, Daniel; Muñiz, Ivan: «Sostenibilidad, ciudad compacta i ciudad dispersa» a Cap a un habitat(ge) sostenible, CADS, 2009.

Intentar quantificar i ponderar aquesta possible relació entre densitat i sostenibilitat, compactat i dispersió, requereix l'aplicació d'una possible mesura de sostenibilitat no sempre fàcil de definir en termes territorials, atesa la dificultat de consensuar (tal com s'ha assenyalat en el cas de les emissions de CO₂) dades coherents a gran escala sobre ciutats i entorns.

En aquest sentit, un grau mesurable de sostenibilitat adient, a escala del territori, seria el de la petjada ecològica (Rees y Wackernagel, 1996), un indicador directament associat a la definició de desenvolupament sostenible de l'informe Brundtland: la petjada ecològica (expressada en hectàrees de superfície per individu) permetria, en efecte, estimar amb eficiència l'impacte de la densitat sobre la petjada ecològica de l'habitatge i del transport, els dos sectors que estan especialment afectats per la forma urbana.¹⁸ L'estimació

de la petjada conjunta de l'habitatge i del transport a nivell territorial requeriria, tanmateix, convertir la informació sobre els materials (T_n), tècniques de construcció, consums energètics residencials (G_j) i quilòmetres recorreguts per a cada mitjà de transport en hectàrees de sòl (petjada), utilitzant factors de conversió calculats i perfeccionats en diferents treballs i recerques.¹⁹

En el cas de Catalunya (i especialment en el de la regió metropolitana de Barcelona), la major part dels treballs referencials realitzats²⁰ ha abordat l'impacte dels diferents models de tipologia urbana i habitacional, en relació a la petjada ecològica que representen, emmarcant la recerca en

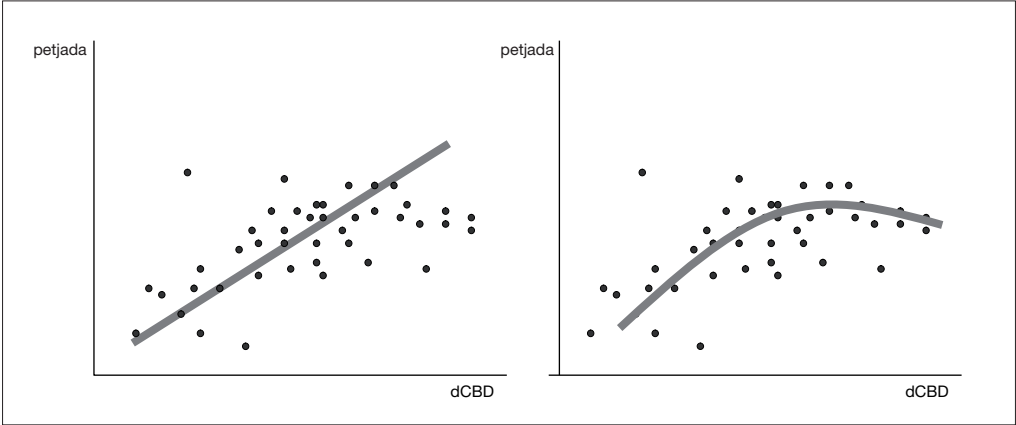
18. Vegeu Walker, L.; Rees, W. (1997) «Urban design and Ecological Footprints: An Analysis of Canadian Households» dins Roseland, M. (ed) *Eco-city Dimensions*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers, p. 96-112. En termes urbans i territorials la petjada ecològica, seria l'espai real que ocuparia una ciutat en funció del seu consum de materials, generació de residus i emissions, resultant una extensió diverses vegades superior als seus límits administratius. Un ús més racional dels recursos naturals, a través de l'estalvi, la reutilització i el reciclatge, així com la introducció de tecnologies més netes destinades a reduir la contaminació, disminuiria la petjada ecològica de la ciutat i garantiria una millor qualitat de vida per a tots els seus habitants, inde-

pendentment del seu poder adquisitiu. Aquests són els objectius bàsics de la majoria de les Agendes Locals 21, una metodologia sorgida de la Cimera de Rio el 1992, i adoptada per milers de ciutats en tot el planeta.

Vegeu <www.miliarium.com/Proyectos/Agenda21/Anejos/SostenibilidadGlobal/Huellaecologica2.asp>

19. Vegeu García, M.A. i I. Muñiz (2005) «El impacto espacial de las economías de aglomeración y su efecto sobre la forma urbana. El caso de la industria en Barcelona, 1986-1996». *Document de treball 05.0*. Departament d'Economia Aplicada, UAB.

20. Vegeu Muñiz, I., García, M.M. i Galindo, A. (2008) «The Effect of Employment Sub-centres on Population Density in Barcelona» *Urban Studies* Vol 45, n° 3, p 627-650. Vegeu també: Muñiz, I. i Galindo, A. (2001) «Ecological sustainability and urban form» *Document de treball*, Departament d'Economia Aplicada 01.02 i Muñiz, I. i Galindo A. (2005) «Urban Form and the Ecological Footprint of Commuting. The Case of Barcelona» *Ecological Economics* 55, p. 499-514.



	Especificació 1	Especificació 2
Cte	0,97 (5,4)	0,61 (3,1)
Nombre de membres de la llar	-0,19 (-5,9)	-0,19 (-6,2)
Renda familiar	8,3 e-6 (7,2)	7,9 e-6 (6,7)
Segona residència	0,21 (2,4)	0,19 (2,6)
Costa	-0,23 (-4,3)	-0,19 (-2,2)
N2	0,13 (1,5)	0,14 (1,6)
N3	0,08 (0,7)	0,07 (0,7)
N4	0,4 (3,8)	0,4 (4)
N5	-0,006 (-0,1)	-0,01 (-0,2)
Densitat	-0,00049 (-1,6)	-0,001 (-1,4)
DEN ²		2,8 e-6 (1,7)
distCBD	0,01 (3,5)	0,05 (5,5)
distCBD ²		-0,001 (-4)
R ²	0,41	0,44

Figura 7. Catalunya, petjada ecològica, mobilitat i habitatge: corbes d'aproximació. La petjada ecològica creix amb la distància al centre fins a arribar a un màxim, a partir del qual comença a decreixer.
Font: Calatayud, Daniel; Muñoz, Ivan: «Sostenibilitat, ciutat compacta i ciutat dispersa», a Cap a un habitat(ge) sostenible, CADS, 2010.

la dicotomia teòrica entre teixits homogenis i continus (compactes) i teixits més dispersos (difosos), intentant calibrar alhora la mencionada hipòtesi de la compensació.

Sobre un univers de 40 poblacions, a partir d'informació estadística i de qüestionaris/enquesta aplicats, amb els factors de conversió pertinents, s'han estimat per a cada cas d'estudi (perfil, població, selecció de tipologia i nivell de transport i habitatge), les següents:

- petjada dels consums energètics residencials (HE_{ener})
 - petjada de l'energia grisa de l'edifici (HE_{cons})
 - petjada de la mobilitat obligada (HE_{mobol})
 - petjada de la mobilitat quotidiana (HE_{mobquo})
 - petjada de la mobilitat de cap de setmana (HE_{capset})
 - petjada de la mobilitat per vacances (HE_{vac})
- $HE_{total} \text{ mobilitat i habitatge} = HE_{ener} + HE_{cons} + HE_{mobol} + HE_{mobquo} + HE_{capset} + HE_{vac}$, una mesura que permetria establir uns primers nivells mesurables i comparatius en els nostres entorns immediats.

Com a principals conclusions d'aquests estudis, caldria destacar:

- El concepte de densitat presenta un efecte de reducció real, per bé que no excessivament vinculant, i la distància al centre de la ciutat produeix una alça significativa de la petjada ecològica final.
- Tanmateix, a partir d'un determinat nivell de densitat, si augmenta no redueix la petjada, sinó que s'incrementa; i a partir d'una determinada distància al centre urbà tradicional, apujar la distància no fa créixer la petjada, sinó que la fa disminuir.

Aquest últim resultat representa els límits d'una política de contenció de la petjada basada en un augment excessiu dels nivells de densitat i concentració de la població en un gran centre (sense que això confirmi la hipòtesi de la compensació).

Una avaluació associada als vectors CHS de sostenibilitat anteriorment exposats permetria ponderar com la ciutat compacte ofereix, en efecte, una millor resposta a la gestió eficient dels cicles de l'energia (economia d'escala), de l'aigua, de la matèria i residus (optimització, reutilització i reciclatge). També als criteris de participació ciu-

tadana (interacció social), proximitat i accessibilitat (grau de connectivitat) i a una mixticitat i complexitat concentrades (varietat tipològica i funcional), així com a una major facilitat en l'equilibri econòmic (relació cost/benefici) i la gestió dels recursos. No tant, tanmateix, en aspectes com ara el confort, la salut i l'habitabilitat (contacte amb la natura, qualitat espacial i ambiental, etc.), la relació amb l'entorn i el paisatge (interacció amb el medi) o la concepció de processos destinats a garantir la pluralitat de relacions (diversitat articulada) o un disseny variable, flexible i transversal (tecnologia, creació, innovació).²¹

La ciutat compacta resultaria, doncs, a través d'aquest tipus d'estudis, més sostenible en termes generals que la ciutat difusa, encara que aquests models de ciutat no solen presentar-se en el seu estat més pur, sinó a través de models urbans simultanis.

El debat entre sostenibilitat i forma urbana ha estat massa associat a la dicotomia compactat *versus* difusió, en efecte, i a la idea d'alta densitat, com a recepta capaç de retornar a les ciutats cap a una via sostenible. Tanmateix, ja s'ha assenyalat que, en tenir en compte la mobilitat de cap de setmana i vacances, així com el factor de les segones residències, la relació entre densitat i petjada ecològica pot comportar-se de manera més indeterminada, ja que s'ha observat una major propensió de certes condicions urbanes concentradores a afavorir l'existència complementaria de segones residències i viatges cap a la

21. En una taula comparativa podríem apuntar els dèficits de la ciutat dispersa enfront dels atributs de la compacta:

- Estratègia competitiva basada en l'augment de la mida i del consum massiu de recursos (energia, aigua, materials i residus) en lloc de gestió dels cicles bàsics
- Consum massiu de sòl en lloc d'interacció amb el paisatge
- Separació d'usos i funcions en el territori (zonificació) en lloc d'interacció social i mixicitat
- Segregació social sobre el territori en lloc d'interacció social
- Complexitat del sistema basada en la juxtaposició i agregació d'elements simplificats en lloc de simultaneïtat i mixicitat
- Mobilitat basada fonamentalment en mitjans motoritzats en lloc de proximitat i accessibilitat
- Desenvolupament de grans infraestructures viàries (elevat cost econòmic, social i ambiental en lloc d'equilibri econòmic i ambiental)
- Ineficiència relacional (intercanvis) en el sistema en lloc d'equilibri econòmic i social
- Mecanicitat i estancitat dels processos en lloc de disseny flexible i integrat.

natura, amb el consegüent increment de l'energia grisa, l'energia d'ús i la mobilitat associades. Les recerques activades han mostrat indicis de l'existència de límits a partir dels quals en augmentar la densitat, la petjada no cau, sinó que augmenta (hipòtesi de la compensació).

La complexitat de la realitat i la diversitat de situacions actuals exigeix visions menys dicotòmiques susceptibles de vertebrar compacitat i discontinuïtat, cohesió i variació, coordinadament.

En aquest sentit, cal destacar un corrent de pensament, sòlidament assentat en la reflexió urbana contemporània, que davant de les dinàmiques mecanicistes de la ciutat difusa i, també, del paradigma de la gran ciutat compacta i homogeneitzadora, defensa una distribució urbana policèntrica i mallada, coordinada a partir de nuclis de densitat intermedis i espais verds *in-between*, en una sistemàtica disdenda dels assentaments urbans dimensionats en funció dels recursos de la regió natural on s'ubiquen. Aquest enfocament ha propiciat interessants treballs apareguts en els anys vuitanta i noranta (Morris, 1982; Roseland, 1997; Bookchin, 1995; Register, 1987; Hildebrand Frey, 1996) que no es plantejarien des de la defensa del suburbi enjardinat, sinó des de l'articulació d'urbanitats mitjanes amb densitats variables i diversificades (altes / mitjanes / baixes), mixicitat programàtica i social, accessibilitat i proximitat feina/treball/oci, un contacte més gran amb el paisatge i els espais naturals intermedis i una política descentralitzada basada en la idea de comunitat intermunicipal²²

Des del punt de vista territorial, la mateixa Unió Europea tendeix a estimular el desenvolupament de nuclis urbans de mida intermèdia, amb les característiques del model de ciutat compacta, amb suficient proximitat entre ells per poder compartir de manera eficaç determinats serveis o equipaments col·lectius. Pel que fa a les ciutats de major dimensió, els districtes i barris haurien de respondre, cadascun, al model de ciutat multinodal, afavorint fórmules de participació ciutadana i de coresponsabilització social molt més actives, completades amb noves articulacions verdes a diverses escales.

En cada barri hauria d'existir la necessària oferta d'equipaments socials, culturals i esportius, així com una activitat econòmica, lúdica, relacional i comercial susceptible d'afavorir els intercanvis, les trobades i les relacions.²³

El debat entre les bondats de la ciutat tradicional compacta (densitat, proximitat, mixicitat, concentració de recursos, etc.) davant dels conflictes de la ciutat recent difusa i/o polidispersa (fragmentació, dissolució de relacions, desconexió, especialització, consum de recursos) sembla que deixa pas, així, a un nou paradigma, el de la ciutat plural entrellaçada —pluricèntrica i pluricompacta— i la seva articulació en xarxa.

Aquest nou model polifàsic, especialment pertinent a Catalunya, es basaria en l'articulació concertada, en un mateix espai relacional, de nuclis intensos de densitat urbana nodal, espais de reserva —i d'ús— paisatgístic i infraestructures de distribució i connectivitat, conjugats a nivells i escales diverses, segons nous esquemes integrats que no implicarien disgregació, sinó capacitat de relació. La necessitat de treballar amb aquests nous models entrellaçats (en xarxa orientada) concebuts des d'una lògica més irregular, diversa i diversificada, remetria, en efecte, a la capacitat d'articular sistemes urbans plurinuclears, de desenvolupament discontinu i interacció integrada amb el paisatge: models pluricompactes, doncs, enfrontats a la visió monocohesiva dels models compactes tradicionals (mes pròxims a les antigues estructures unifocals de creixement unitari) i atents a la possibilitat de treballar amb una discontinuïtat mallada i concentrada alhora (disdenda) així com a la capacitat d'equilibrar espais de concentració nodal amb respectius espais intersticials de vocació mediambiental, entre estructures en un nou tipus de geografies urbanes (o geourbanitats) discontinües, mallades i integrades alhora.

24.1.2.2. Estratègies multinter: models disdensos, models plurinuclears²⁴

En el cas de Catalunya, aquesta condició geourbana (policentral) encara seria més explícita en

22. Vegeu Calatayud, Daniel; Muñiz, Ivan. «Sostenibilitat, ciutat compacta i ciutat dispersa» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2010.

23. Vegeu <www.miliarium.com/Proyectos/Agenda21/Anejos/SostenibilidadGlobal/Huellaecologica2.asp>.

24. Apartat a càrrec de Manuel Gausa (coord. gral.).

destacar aquest valor accidentat i variat d'una topografia mallada, rica en elements —espais i nodalitats— diferencials, directament relacionats amb espais diversos de vida i intercanvi (grans centres i nuclis intensos), particularment pròxims i connectats entre si.²⁵ En efecte, si el 25% de la població catalana viu avui a Barcelona, també existeix tota una extensa xarxa de ciutats intermèdies —o intenses— situades a una mitja hora de la capital. La sostenibilitat global del sistema actual es basaria, en gran part, en l'eficàcia d'aquesta xarxa de ciutats i en la seva relació i proximitat física, de manera que extensió, velocitat i freqüència de transports públics (metro, ferrocarril de rodalies, autobusos) resultaria clau (a un quart d'hora de tren des de Barcelona, es concentra un 33% de la població, a mitja hora, un 45% i a poc més d'una hora, el 50%, cosa que es tradueix, en aquesta geografia mòbil i fluctuant que gravita en una forta àrea, sobretot costera i precostera, d'interacció).²⁶

Davant la important realitat polaritzadora de Barcelona i la seva àrea metropolitana, emergirien, no obstant això, alguns nodes intermedis en què s'endevinaria un cert grau d'intensitat rellevant. Evidentment, alguns correspondrien a àrees formades per un grup equilibrat de municipis que compartirien una mateixa especialització econòmica i presentarien relacions de complementarietat sense clars lideratges: el Penedès (Vilafranca/Sant Sadurní) el triangle Tarragona/Reus/Salou/Cambrils i les franges compreses per (i entre) les zones del Maresme i la Costa Brava —des de Mataró fins a Lloret— en serien alguns exemples. Altres respondrien a zones de mida intermèdia, agrupades al voltant de capçaleres tradicionals: el Gironès i el gran pla de Lleida/Tàrraga/Cervera, la plana de Vic o els voltants d'Igualada, Manresa, Tortosa, etc. En aquest sentit, el territori català evidenciaria, en efecte, la importància d'aquells espais neometropolitans (o protometropolitans) definits en més d'una ocasió com a «intensos» i en què es produiria una progressiva concentració d'intercanvis, activitat,

infraestructures, i per tant d'atracció; i, com a conseqüència de tot això, una alta mobilitat i un fort consum.²⁷

En qualsevol cas, aquests espais (desenvolupats al voltant de nuclis o nodes de mida intermèdia) tan sols podrien continuar mantenint la intensitat de les seves relacions en el cas d'introduir modificacions graduals en algunes de les pròpies estructures autònomes i productives, apostant per la creació de noves xarxes de relació transversal entre elles.

El mateix concepte de *ciutat de ciutats*, referit a la noves/velles estructures metropolitanes finiseculars, definiria així tot un eficaç concepte programàtic que permetria apreciar aquest nou tipus de condició més elàstica i irregular de la ciutat i del territori, en la qual les antigues formes expansives d'acumulació metropolitanes deixarien pas a conjunts progressivament policol·laborants; conjunts discontinus, concertats o agenciats —no sempre unívocs sinó articuladament diferencials— destinats a combinar vells i nous centres, grans nuclis atractors i nuclis intermedis o intensos, malles de connexió i espais de relació en un nou tipus d'estructures d'intercanvi en xarxa —més complexes, elàstiques i flexibles— entre identitats in(ter)dependents, més que entre entitats subordinades:²⁸ estructures definides més enllà de les tradicionals àrees metropolitanes o de les eternes dicotomies urbà/rural.

24.1.2.3. Polítiques econòmiques i estratègies de gestió globals i locals per avançar cap a maneres més sostenibles d'ocupació del territori²⁹

Els límits dels antics nuclis municipals (perifèricocentrals o pericentrals) apareixerien així potencialment integrats en una xarxa orientada

25. Vegeu Nel·lo, Oriol. *Ciutat de ciutats, reflexió sobre el procés d'urbanització a Catalunya*. Barcelona: Empúries, 2001.

26. Segons dades de l'Institut d'Arquitectura Avançada de Catalunya i Idescat, 2003.

27. Es recull aquí la denominació *intensa* proposada per Oriol Nel·lo en el seu article «Ciudades intensas: reflexiones sobre el papel de las ciudades de la segunda corona metropolitana en la articulación del área de Barcelona». Vegeu Nel·lo, Oriol, *Opus Cit*.

28. Vegeu Gausa, Manuel. «Land links: hiperterritoris / multicuitats / geourbanitats» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2009. Vegeu també Gausa, Manuel. «Barcelona Metropolis: Salt d'escala» a *Espais* núm. 47 (*La metròpoli del 2010*, Barcelona, 2001).

29. Apartat a càrrec de Manuel Gausa i Ignasi Puig Ventosa.

de connexions i estructures poli-nuclears virtual que requeriria noves lògiques municipals (i sobretot intermunicipals) capaces d'assegurar desenvolupaments integrats sobre la regió, més enllà de les habituals operacions de fortuna i conjuntura de l'ús. En aquest sentit, aquesta nova concepció articulada de la ciutat i el territori requeriria l'articulació de nous formats de col·laboració intermunicipals i, fins i tot, interterritorials (entre ciutat, ciutats i paisatges) que propiciïn un plantejament més coordinat dels programes i dels usos, de les reserves i dels creixements (i/o les plusvàlues) en el territori —diferencial en el paper estratègic que té, reequilibrat en el repartiment econòmic— afavorint, així, un plantejament més selectivament —i asimètricament— localitzat de les càrregues i de les funcions, dels potencials de creixement i de les obligacions de reserva (de les capacitats de creixement i de les limitacions de fer-ho), lluny de les habituals inèrcies particularistes i dels actuals àmbits competencials locals (amb les consegüents gestions endògenes dels processos urbanístics), però, també, de les tradicionals fórmules d'ocupació, zonificació i distribució, basades en models massa isòtrops i lineals i en obsoletes classificacions del sòl.³⁰

Aquests aspectes compensarien, en nous escenaris concertats intermunicipals, ingressos i plusvàlues i repartint fiscalitats, recursos i beneficis entre llocs de creixement i llocs de preservació o reserva,³¹ tal com indica Ignasi Puig Ventosa³²:

Hi ha diversos aspectes de la planificació urbana (aquells més propers a la planificació territorial) que no tenen en l'escala municipal el nivell òptim

d'actuació (per exemple, no té sentit que els ajuntaments continuïn competint entre ells fent polígons industrials per atreure empreses). És poc viable políticament que es limitin algunes de les competències en planificació urbana dels municipis, però sembla clar que aquesta seria una via per augmentar-ne la coherència. D'altra banda, per motius clars de finançament i ingressos locals, tampoc és desitjable des d'un punt de vista ambiental que s'aprovin, com succeeix amb molta freqüència, plans generals d'ordenació urbana que continguin previsions de creixement desmesurades en nombre d'habitatges. Un cop aquestes previsions s'agreguen, donen uns valors totals de creixement d'habitatges (i població) molt per sobre de les previsions efectuades per la Generalitat per al conjunt de Catalunya, fet que en part contribueix a explicar que després les previsions s'incompleixin amb freqüència a nivell local.

Una opció seria que alguns dels ingressos relacionats amb l'urbanisme deixessin de ser municipals. Aquesta pèrdua de recursos hauria d'anar acompanyada de les consegüents compensacions (presumiblement per part de les administracions a qui anessin dirigits els ingressos que els ajuntaments deixessin de percebre). Lògicament, una proposta d'aquest tipus requeriria molta més elaboració, però podria permetre eliminar incentius a urbanitzar en excés a la recerca d'ingressos de curt termini i crear un model que permetés repartir els beneficis de la urbanització entre els territoris que urbanitzen i els que no ho fan, per així repartir les càrregues que comporta la conservació (com es reparteixen els beneficis derivats de la urbanització). Actualment, la construcció reverteix en ingressos municipals, mentre que la conservació comparativament no. És fonamental que la conservació també sigui rendible per als municipis (també és just econòmicament, per la generació d'externalitats positives) i això passa per un transvasament d'ingressos entre territoris, que només és possible si els tributs derivats de les operacions urbanístiques no es queden en gran part en el mateix municipi on la urbanització es construeix.

La reforma és necessària. Cal tenir present que, en tant que el territori municipal adequat per a usos urbans és limitat, les fonts d'ingressos basades en desenvolupaments urbans en terrenys de nova ocupació són, per definició, insostenibles en el temps. El problema greu apareix amb l'esgotament del sòl (punt on ja es troben una minoria de municipis), però n'hi ha prou amb una frenada del sector de la construcció per tal de fer

30. Vegeu Borja, Jordi. *La ciudad conquistada*. Madrid, Alianza editorial, 2004. El tema de fons, la concepció d'un nou tipus de governabilitat metropolitana, definida més enllà dels habituals marcs locals/municipals de decisió, però també, més enllà de les tradicionals estructures globals/regionals de regulació i planificació, resulta de gran actualitat, quan és la mateixa idea de ciutat (i, per tant, de metròpoli) la que es veuria sotmesa avui a constants revisions i replantejaments.

31. Vegeu les anàlisis d'Ignasi Puig Ventosa al capítol «Polítiques econòmiques locals per avançar cap a formes més sostenibles d'habitatge i d'ocupació», a *Cap a un Habitatge Sostenible*, Barcelona, CADS, 2010.

Vegeu també Torres, Pere: «Territoris de risc», a la revista VIA núm.5, 2007.

32. *Ibidem*.

trontollar les finances municipals (i no només municipals). Adoptar un paper actiu en reduir la dependència de les hisendes municipals respecte dels ingressos urbanístics vinculats a la construcció no solament tindrà efectes ambientals positius, sinó que també contribuirà a la sostenibilitat financera.

La configuració dels recursos tributaris i no tributaris municipals ha contribuït a afavorir el creixement urbanístic. En canvi, fins ara el paper de la fiscalitat com a potencial incentivadora de bones pràctiques ambientals ha estat bàsicament desatès a l'escala local. Cal ser clar en què són l'Estat i les comunitats autònomes qui disposen dels instruments més potents de fiscalitat, així com en el primer cas de la potestat de reformar el marc de les hisendes locals. Tanmateix, com s'ha vist, des de l'escala local també es disposa de possibilitats en l'àmbit de la fiscalitat ambiental que poden ser significatives, particularment en referència a aspectes com l'ocupació del sòl o les característiques dels habitatges i les pràctiques ambientals dels residents. Aquest és un camp de la política ambiental local pràcticament nou i que pot complementar els instruments emprats fins ara.

Ja hem apuntat que la nova ciutat-territori no pot continuar mirant-se a si mateixa. Els estrictes límits de les diferents realitats municipals que la convoquen no són ja els de la respectiva influència real. La força dels grans centres atractors impulsa, tal com hem assenyalat, el territori, però el major o menor equilibri del territori depèn decidivament de les diverses polinuclearitats que conformen la configuració global, multinodal.

Abordar aquest nou organisme urbanoterritorial, aquí exposat, hauria de plantejar amb decisió la necessitat d'una major coordinació territorial a gran escala,³³ afavorint marcs d'acció (i de relació) destinats a generar no solament nous plantejaments econòmics, sinó autèntics sistemes de relació entre lloc» i entrellocs territorials.

En aquest marc de reflexió i investigació, s'articularien alguns dels treballs de redefinició territorial avui emergents, destinats a plantejar nous sistemes operatius acordats a la difusa realitat de

connexions polinuclears en les quals s'inscriurien els actuals sistemes territorials, i que estendrien la seva àrea d'influència més enllà de les clàssiques àrees metropolitanes, en noves regions geourbanes, referibles a possibles matrius seriadess o ritmades entre colonització/paisatge/infraestructura, ple/buit/enllaç, és a dir, entre trames (o bosses) de densitat, paisatges d'ús i infraestructures d'enllaç:

- Reforçant i reactivant les actuals estructures urbanes.
- Coordinant les diverses matrius paisatgístiques.
- Articulant les diferents malles infraestructurals i els sistemes de mobilitat i de programació, en nous models de planificació integrada.

Connectar, doncs, la discontinuïtat; treballar amb la simultaneïtat; articular infraestructures —i intraestructures— coordinades; propiciar una eficaç interacció entre medi, espais, territoris, fluxos i activitats: serien, aquestes, dinàmiques que reclamarien, alhora, concepcions globals sobre les mateixes estratègies territorials, sobre els sistemes de mobilitat i de programació, sobre els fluxos i els intercanvis —sobre els escenaris de desenvolupament i les seves possibles interelacions combinades— que, per la complexitat global (quantitat d'agents implicats, incidència en els diferents nivells administratius, transversalitat normativa, etc. que tenen) convocarien una necessària recerca sobre els actuals models i instruments d'actuació i planificació urbana.

En aquest sentit, cal destacar la importància de promoure i impulsar, al nostre país, autèntics processos multisectorials de consultoria, prospectiva i recerca avançada, urbano-territorial, destinats a plantejar possibles innovacions operacionals i metodològiques i matèries de debat i reflexió al voltant d'aquestes qüestions.

La nova investigació urbano-territorial i amb una decisiva declinació sostenible implicaria treballar amb aquesta dimensió discontinua i entrelaçada d'un nou tipus de geografia relacional, associada a una necessària concepció trenada —articulada i oberta, a un temps— del sistema global susceptible de combinar moviments implotius i desenvolupaments extensius.

33. S'agafa prestat el terme «Gran escala» (encunyat per Eduard Bru) per sintetitzar aquest tipus de plantejaments, que dona títol al màster impulsat des d'aquests criteris per la Universitat Politècnica de Catalunya.

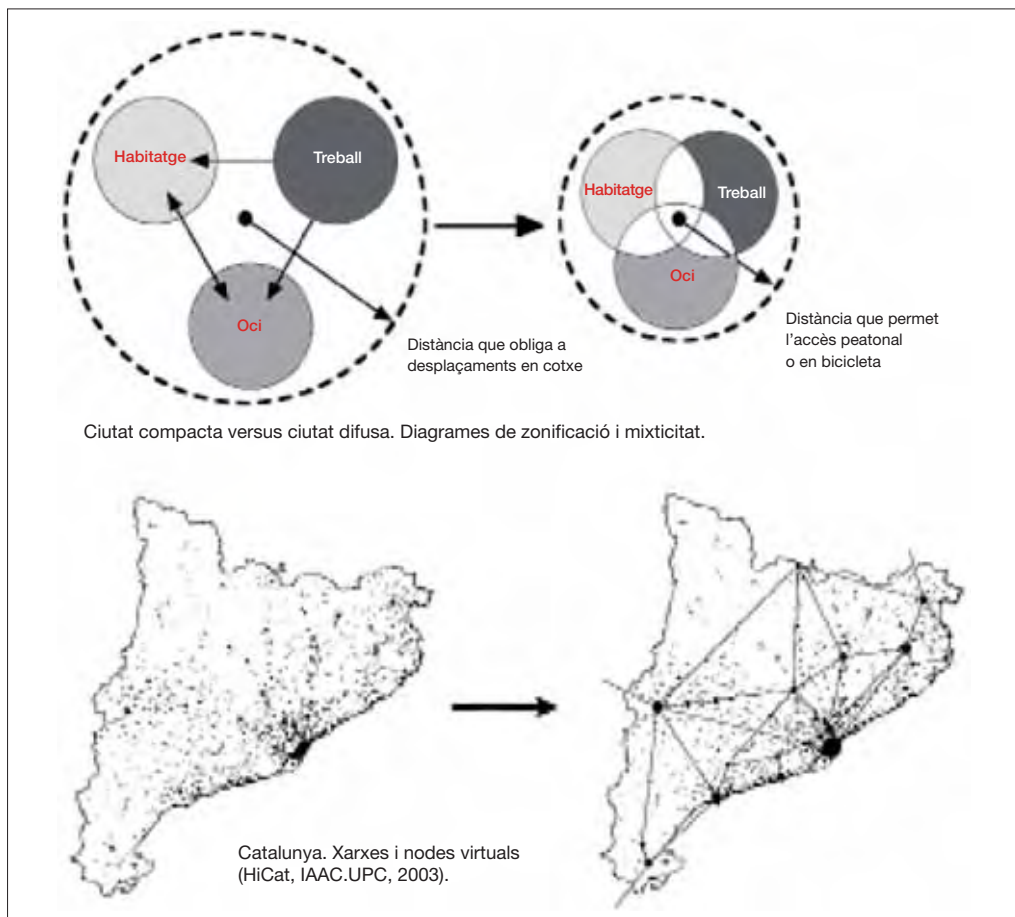


Figura 8. Catalunya. Xarxes i nodes virtuals (HiCat, IAAC, UPC, 2003)

Font: Gausa, Manuel. «Land links: hiperterritoris / multicittats / geourbanitats» a Cap a un habitat(ge) sostenible, CADS, 2010.

- D'un territori extraurbà es tractaria de passar, doncs, a un territori interurbà.
- D'un territori fons a un territori malla.
- D'un territori passiu a un territori actiu.

Capaç d'equilibrar estructures de concentració i estructures d'articulació, àrees denses i àrees esponjades, nodalitats i espacialitats, generant possibles desenvolupaments (i plusvàlues) de marge (en les vores de reforç i límit perimetral, per exemple) i al mateix temps conservant (i operativitzant) grans espais d'articulació i reserva.

Hem utilitzat ocasionalment el terme *land-links* per definir aquests possibles dispositius integrats i engranats destinats a assegurar desen-

volupaments locals i globalment qualitatius a gran escala: desenvolupaments en què la ciutat no es continuaria interpretant ja com un únic moviment edilici al voltant d'un gran centre unitari sinó com una estructura multicentral, sensiblement ajustada i sistemàticament interconnectada, feta de moviments, esdeveniments i espais relacionats per eficaces xarxes ecoestructurals i infraestructurals.

És evident, tal com s'ha assenyalat, que el salt recent de la ciutat tradicional cap a l'exterior (que hauria de ser vist en tota la importància i dimensió) requeriria, a la vegada, un moviment complementari de reinducció i retracció acordat a l'aprofitament sostenible dels recursos i dels

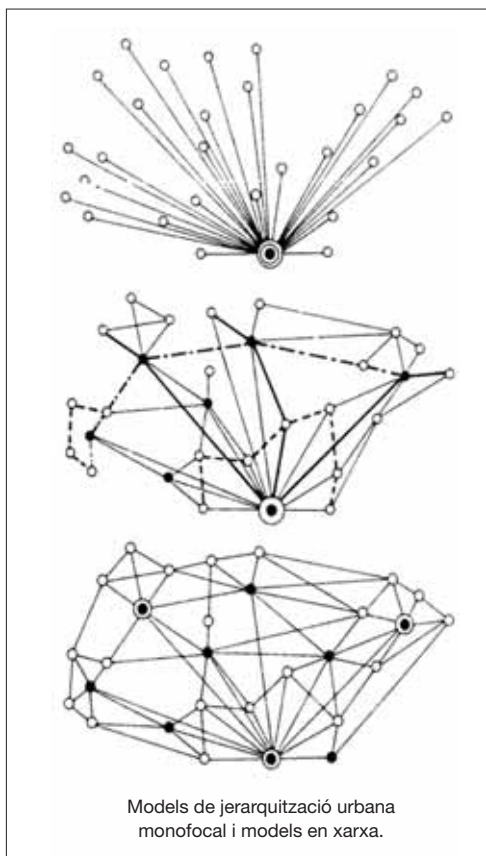


Figura 9. Catalunya. Models de jerarquització monofocal i models en xarxa.

Font: Gausa, Manuel. «Land links: hiperterritoris / multiciutats / geourbanitats» a Cap a un habitat(ge) sostenible, CADS, 2009.

actius ja existents.³⁴ La ciutat tradicional (ara pluricentral) i els seus nuclis associats haurien de pensar, doncs, com créixer i reestructurar-se cap a dins propiciant nous esquemes destinats a orientar operacions urbanes de reforç i reactivació, des de bases conceptuals comunes —estratègica i conceptualment intencionades— més enllà de la pura suma d'actuacions puntuals.

Aquesta seria una nova estratègia reformuladora en què desenvolupar no implicaria, necessàriament, créixer; ni créixer, forçosament, ocupar. En què preservar no significaria congelar; ni

transformar, eliminar. Ben al contrari, es tractaria de combinar moviments de desenvolupament ponderat i de conservació activa, de sistole urbana i de diástole territorial, en nous dispositius de relació. També fóra bo estendre el paisatge i implosionar l'arquitectura.

La ciutat contemporània hauria de repensar, doncs, com reforçar les pròpies estructures existents, reutilitzant i reactivant els propis teixits nodals, retraçant els propis contorns perimetrals, reinformant els vells/nous traçats existents, assumint i potenciant la natura variada de les pròpies estructures de definició. Aprofitant, en qualsevol cas, els valors i actius d'aquells espais referencials sensiblement consolidats, i relançant amb noves ambicions els potencials d'aquells sectors menys caracteritzats; positivament les diferències; valorant les senyes d'identitat de cada lloc o sector; i articulant decisivament les característiques específiques de les seves diferents estructures, no per recrear-les sinó per reconèixer-les per tal d'actuar i interactuar qualitativament, en elles i entre elles; destacant-ne els actius i els atractius (evidents i ocults); no solament renovant les realitats existents amb formes noves, sinó reactivant-les amb noves estructures (innovadores) capaces d'induir interaccions qualitatives a tots els nivells, urbans, culturals i socials.

24.1.3. Sostenibilitat i forma urbana: criteris de rutina i nous criteris d'interacció³⁵

Reconèixer, en efecte, les diferents tendències que es debaten avui sobre els propis models d'ocupació territorial permet alhora considerar de manera crítica moltes de les actuals dinàmiques d'actuació urbanístiques i plantejar noves estratègies d'intervenció.³⁶

35. Apartat a càrrec de Manuel Gausa.

36. En aquest punt, el debat entre la ciutat difusa i la ciutat compacta està servit. De fet, sembla resolt en la part intel·lectual —la ciutat difusa és el paradigma de tots els mals i la compacta representa la solució sostenible—, però continuen abundant els projectes de ciutat difusa arreu. Tançar de manera tan dràstica el dilema no sol ser auguri de ple encert. Els matisos són imprescindibles i, si no n'hi ha, malament rai. És cert que, en la densificació de les ciutats, solen produir-se unes economies d'escala que redueixen el consum per càpita de sòl, energia i aigua i, també, la producció de residus i contaminants. Igualment, sol haver-hi millors resultats en els indicadors d'habitabilitat. Tanmateix, les

34. Vegeu el terme *reinformació* a Guallart, Vicente. «Redes y reinformación urbana» a Gausa-Guallart-Muller, MET.01, Barcelona, ed. Actar, 1998.

La lògica de creixement vinculada a un certa concepció històrica i edilícia de la ciutat, ha anat marcant, en efecte, gran part de l'obra pública a Catalunya, basada en uns idearis proclius a dinàmiques de continuïtat traçadista de la ciutat existent: illa de cases, carrer, teixit, traçat, ple sobre buit... constituïrien els puntals sobre els quals reposaria una colonització prioritàriament urbana del territori, destinada generalment a parcel·lar, delimitar (o obviar) la mateixa presència —i manifestació potencial— del paisatge (les línies de fuga, els horitzons, les matrius biològiques, les trames agrícoles existents, les superfícies, les textures i els relleus) produint formats més o menys lineals d'expansió i eixample, en la pròpia predeterminació.

Al mateix temps, les lleis del mercat immobiliari privat han afavorit majoritàriament l'aparició —tal com s'ha reiterat— de promocions disperses derivades dels suburbis anglosaxons, associades a tipologies de baixa densitat, consum estandarditzat i perfil unifamiliar (habitatges aïllats o adossats, urbanitzacions secundàries, *sprawls* periurbans, etc.) paradigmes d'una possible urbanització³⁷ o difusió urbana, especialment sensibles a aquelles parts del territori susceptibles de convertir-se en possibles àrees d'oportunitat, no exemptes de disfuncions i conflictes a nivell de consum de recur-

sos, amb escassa relació social, dèficits d'equipaments, mobilitat forçosa, etc.

L'augment de la mobilitat i d'un intercanvi deslocalitzat han afavorit en les dues últimes dècades aquest creixement exponencial de la ciutat sobre el territori.

El sòl residencial, és a dir, el dels nous barris residencials de baixa o mitjana densitat, ha estat, entre altres, un dels principals protagonistes d'un procés en què s'ha vist compromesa bona part de la construcció de la ciutat i, per tant, del territori.

El paisatge que es configura avui a les nostres ciutats evidencia, en efecte, de manera contundent, l'habitual condició paradoxal que caracteritza el possibilisme pragmàtic d'uns escenaris marcats pel mer instrumentalisme conjuntural o encotillat que ha tendit a regir els processos.

En un marc socioeconòmic llastrat, sovint, pel culte a l'hàbit i a la rendibilitat dels estàndards, el tema de l'habitatge ha anat constituint, durant anys, un camp particularment procliu a la reiteració i a la repetició (per part de promotors privats i, en última instància, també públics) d'arquetips acomodats en les pautes segures d'un bagatge ambigu (i fins i tot neollenguatge) neoconservador, de perfils sovint voluntàriament proclius a la convenció.³⁸

En aquest sentit, ens hem mogut, en efecte, en els últims temps —sobretot a Europa— amb les restes d'uns models de ciutat entossudits a produir o reproduir un possible lloc ideal, d'atributs totalitaris i uniformes. Un lloc simbòlic a recuperar i reconstruir (l'històric) o un possible model alternatiu —funcional— a imposar (el modern). I, conjugant-los tots dos, un tercer model de síntesi postmoderna destinat a combinar l'eficàcia productiva moderna amb la semàntica eclèctica del llenguatge neotradicional. Una combinació demolidora quant a l'èxit reproductor, especialment tranquil·litzador per a promotors, administradors, gestors o simples tècnics avaladors.³⁹

mesures relatives (per càpita) oculten una característica essencial dels fenòmens ambientals: els valors absoluts compten. Així, pot haver-hi menys consum per càpita d'aigua però el consum total creix i, en conseqüència, l'estrès hídric pot ser limitatiu. Pot generar-se menys contaminació atmosfèrica per càpita, però aquesta s'acumula als carrers i és més fàcil que superi els llindars d'insalubritat. Igualment, hi ha una habitabilitat superior, però la mitjana maquilla l'heterogeneïtat de barris de manera que potser conviuen àrees d'alta habitabilitat amb àrees en què és molt precària. No em reca, doncs, de reconèixer que la ciutat compacta té aquestes economies d'escala generalment positives, que consumeix menys sòl (si més no, directament) i que, per tant, ha de tenir preeminència com a model: jo mateix he considerat que la ciutat difusa és un factor de risc territorial. Ara bé, insisteixo en la conveniència d'optar per la mesura. En el doble sentit de la paraula: el de contenir-se davant certs entusiasmes i el de recórrer a les xifres per a verificar les hipòtesis. Per això, ser capaços de calcular de debò la petjada ecològica de la ciutat —d'una ciutat concreta— ha de servir-nos per orientar millor les nostres decisions. Vegeu Torres, Pere. «De l'habitatge sostenible a la sostenibilitat habitable» a *Cap a un Habitat(ge) Sostenible*, Barcelona, CADS, 2010. Vegeu també Torres, Pere: «Territoris de Risc», VIA núm.5, 2007.

37. Segons Francesc Muñoz, op. cit.

38. Vegeu *International Property*. Barcelona: COAC, 1995 (col. Quaderns Monografies), i el catàleg de l'exposició de mateix títol ideada pels arquitectes Yago Conde i Bea Goller (gener, 1995).

39. Vegeu Gausa, Manuel, «Paisajes habitados: nuevos modelos para el cambio de siglo», *El País* 07/03/2005.

La rutina i un pragmatisme malentès han tendit, durant anys, a encoratjar aquest tipus d'abordatges basats essencialment en la utilització de models assumits i acceptats per endavant, i que no semblen respondre ara als reptes d'una autèntica interacció amb el medi (paisatge, context, entorn) ni a cap altre criteri, llevat potser el d'aquells vells clixés d'atavisme sentimental i pragmatisme operatiu, basats en unes elementals divisions/distribucions (del sòl i de l'espai), encara momentàniament rendibles, des del punt de vista de la simple i simplista gestió socio-econòmica, però que s'enfronten, avui, a les manifestacions —i exigències— d'un nou espai plural, més complex i exigent, fet de valències i convivències, d'estrats múltiples i d'estadis multiplicats.

Davant d'aquesta nova natura heterogènia i plural de la ciutat (pròpia de la seva implícita condició múltiple i evolutiva), però també davant d'aquesta doble sol·licitud, dinàmica i sostenible a un temps, més que models formals o figuratius, merament productius o reproductius, són necessaris, criteris coproductius, d'encreuament (interactius, mixtos, relacionals); atents, al mateix temps, a l'estratègia del global i a l'excepcionalitat del singular. A la força de les volumetries i a la importància de les obertures. A la reconsideració de les densitats i al disseny de les dilatacions (esponjaments, retalls, obertures, etc.). A un nou tipus de trobada entre programes i usos, activitats i col·lectivitats, densitats i natures, mitjans i medi, processos i recursos i, per tant, a la concepció de nous tipus d'actuacions més mediadores, lluny de la massiva màquina moderna, però lluny, també, de la guetoficació esteticista postmoderna; actuacions susceptibles d'afavorir la mixicitat i l'intercanvi a tots els nivells, funcionals, socials, culturals i, òbviament, mediambientals.

És evident que el salt relativament recent de la ciutat cap a l'exterior requereix, a la vegada, noves i oportunes dinàmiques de reinducció urbana —tal com s'ha assenyalat—, és a dir, un moviment contraposat de reforç i reactivació —de revitalització, de rehabilitació i de reestructuració internes; la importància, en tot el discurs sostenible, de les nocions de reutilització i reciclatge, de contenció i estalvi de recursos, abonaria

aquesta aposta per afavorir uns models de consolidació urbana, multi-nodals i pluri-compactes, més complexos i integrats en conjunts territorials degudament articulats.

En aquest sentit, la política pública al voltant de l'urbanisme residencial s'ha orientat, majoritàriament, durant les dues últimes dècades, o bé cap a polítiques de restitució o reconstrucció interiors (associades a models de sutura i recreació urbanes), localitzades en els teixits centrals existents, o bé cap a operacions d'extensió i continuïtat (plans parcials, nous barris), situades habitualment en espais de límit o perímetre entre ciutat i paisatge, i materialitzades segons models d'exemple tradicionals més o menys actualitzats.

A partir de l'abordatge de 50 casos d'estudi a Catalunya, l'anàlisi de les actuacions residencials realitzades durant l'última dècada permetria reconèixer un catàleg de diferents situacions tipus, referides a l'estudi respectiu de les actuacions promogudes en els nuclis i teixits centrals, en les vores i límits de la ciutat i en les àrees disperses.

- En el cas dels nuclis i teixits centrals, l'estudi estadístic i comparat d'aquelles operacions de reactivació, de renovació i/o de reestructuració dels parcs immobiliaris existents permetria considerar tres estratègies bàsiques de:
 - Reutilització/rehabilitació dels teixits existents
 - Reforma renovadora en continuïtat o sutura morfotipològica
 - Reestructuració i redefinició (o reimplosió) internes, a partir de noves operacions de reformulació de densitats i edificacions.
- En el cas dels espais de vora o límit de la ciutat, l'estudi estadístic i comparat dels de vora, extensió o contorn permetria considerar tres estratègies bàsiques de:
 - Continuïtat amb la ciutat tradicional (extensions o exemples)
 - Contrast, reestructuració i redefinició zonals, a partir de noves operacions de creixement de densitat i/o volumetria, ponderadament equilibrades amb espais lliures de marge associats



Figura 10. Catalunya. L'exemple residencial com a paradigma de la continuïtat tradicional urbana.
Font: Incasòl, 2003.

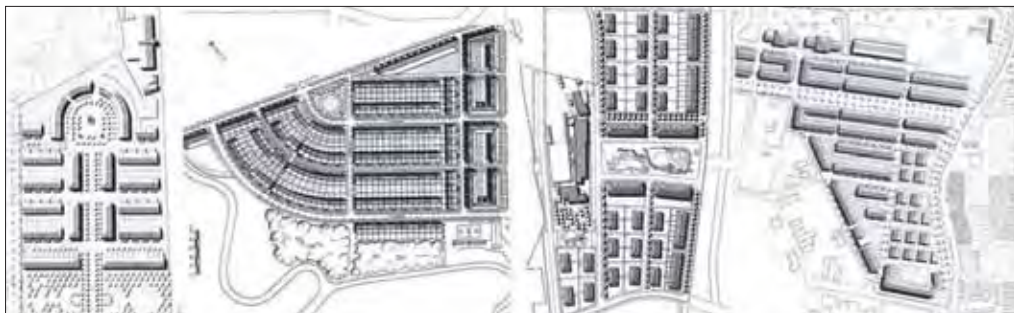


Figura 11. Catalunya. Patrons de desenvolupament urbà (1997-2003).
Font: Incasòl, 2003.

- Transició per interacció entre ciutat i paisatge, mitjançant nous patrons tipològics d'encreuament i trobada arquitectura/topografia, de geometries i densitats variables.
- En el cas de les àrees disperses, l'estudi estadístic i comparat d'aquelles operacions de reconsideració de la dispersió immobiliària permetria considerar tres estratègies bàsiques de:
 - Reconnexió estructural i connexió infraestructural.
 - Reformulació tipològica i introducció de nous patrons de reestructuració i concentració selectives
 - Infiltració i articulació de noves estructures relacionals (espais públics, espais comunitaris, nous equipaments, etc.) dissenyats a partir de noves trames de redefinició i relació.

Com a primeres conclusions de l'estudi, caldria assenyalar:

- En el primer cas, el d'aquelles intervencions destinades a requalificar o reforçar aquells tei-

xits propis dels nuclis consolidats, dels tres enunciats bàsics considerats (la reutilització/rehabilitació reconstructiva dels teixits existents, la de la reforma discreta en continuïtat, o la de la reestructuració i redefinició reavaluadora) la inèrcia majoritària ha estat la de la rehabilitació profilàctica i la de la reconstrucció puntual o la sutura continuïsta de, i amb, els teixits existents.

- En el segon cas, el d'aquelles altres intervencions destinades a reforçar o retraçar els perímetres i a redefinir els límits i vores, dels tres enunciats bàsics contemplats (continuïtat amb la ciutat tradicional, reestructuració zonal a partir de noves operacions de reforç i augment de densitats o interacció ciutat/paisatge, mitjançant patrons de transició i hibridació) la inèrcia majoritària hauria estat la de l'extensió urbana i la recreació, aquí també, dels teixits anteriors.
- En el tercer cas, el d'aquelles intervencions destinades a reorientar i articular les dinàmiques pròpies d'aquelles àrees anomenades *difuses*, dels tres enunciats bàsics plantejats (la regene-

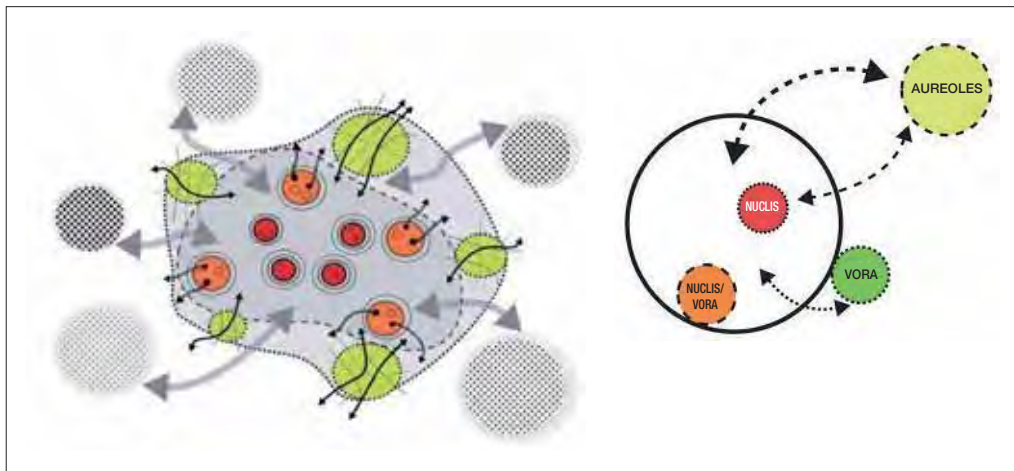


Figura 12. Diagrama de dinàmiques urbanes segons operacions centrals, de vora o periurbanes.

Font: Gausa, Manuel: «Land links: hiperterritoris/multiciutats/geourbanitats» a Cap a un habitat(ge) sostenible, CADS, 2010.

ració infraestructural i dotacional, la introducció de nous elements de cohesió i/o concentració interurbanes o l'articulació de noves estructures relacionals dissenyades a partir de nous patrons tipològics) tan sols el primer supòsit sembla haver-se, tímidament, iniciat.

Des del punt de vista d'una avaluació estadística referida als vectors CHS abans esmentats, podrien significar-se les següents indicacions associades als respectius percentatges relatius, sintetitzats en el quadre annex.

El conjunt evidenciaria, en efecte, la reiteració d'uns models recursius basats en un urbanisme inercial i continuista, no tant pel que fa a un cert respecte bàsic al medi com per la reiteració sistemàtica de fórmules i models homogenis que s'afirmen i es manifesten alhora.

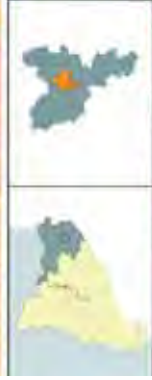
Lluny de les fórmules convencionals o dels models isòtrops i estandarditzats, les exigències d'una realitat més rica i sostenible reclamen articular models més complexos i sensibles al medi, reduint l'impacte sobre l'entorn o el consum de sòl, així com la petjada ecològica dels propis teixits, a partir de l'actuació sobre l'energia grisa dels edificis, l'eficiència en l'ús dels sistemes actius i passius i la mobilitat obligada, la barreja d'usos, la millora dels espais públics, la rehabilitació i/o reutilització edilícia i altres —i diverses—

hipòtesis de treball destinades, en últim terme, a concertar les estratègies a gran escala anteriorment descrites (reforçar la urbanitat nodal, conjugar el paisatge —i els entrepaisatges— i articular la connectivitat) amb d'altres a escala urbana, necessàries i complementaries.

Davant la idea d'una única fórmula eficaç, basada en la continuïtat urbana tradicional (homogeneïtat i regularitat, densitat baixa o mitjana, isotropia traçadista, etc.) la resposta sostenible convidaria a plantejar diversos escenaris destinats a destacar criteris —i consicions— diferencials de desenvolupament en les actuals polítiques urbanes:

- Un primer factor: consolidar i/o reforçar (reimplosionar) la ciutat, fer-la créixer cap a dins, conjugant factors de reconstrucció i reactivació qualitatives, combinant alhora estratègies tradicionals de sutura i reconstrucció amb altres de reconfiguració edificatòria o tipològica: i augment de massa, és a dir, operacions de rehabilitació i reutilització internes amb altres de reestructuració i redefinició, centrals o perimetrals, no necessàriament continuïstes en gàlils i densitats; propiciant dispositius de compactació nodal.
- Un segon factor: retrobar la naturalesa, des de sistemes d'interacció, de transició, encreuament i/o hibridació entre ciutat i paisatge, susceptibles d'assegurar nous escenaris de densitat,

Transicions: Conflarctes (i possibles interaccions) "paisatge-ciutat" Localitat: GIRONA



Comarca: Gironès
Localitat: Girona
Nº habitants localitat: 92.166 hab.
Nº habitants Comarca: 160.838 hab.
Densitat Comarca: 279,52 hab./km²
Superfície Comarca: 579,4 km²
Municipi: 27



Tota l'operació
Pla Parcial Urbanístic
Sectors
Pla de Sòl Urbà
Clau de colors
Any aprovació urbanisme: 20/05/2005
Superfície del sector: 252.214,55 m²
Procedent: Ajustament de Girona
Redactor: Sòlides d'Urbanisme, Oficina del Pla
Programa d'ús
1. Residència
2. Veïdoria
3. Veïdoria
4. Veïdoria (P+D+U)
5. Veïdoria (P+D+U)

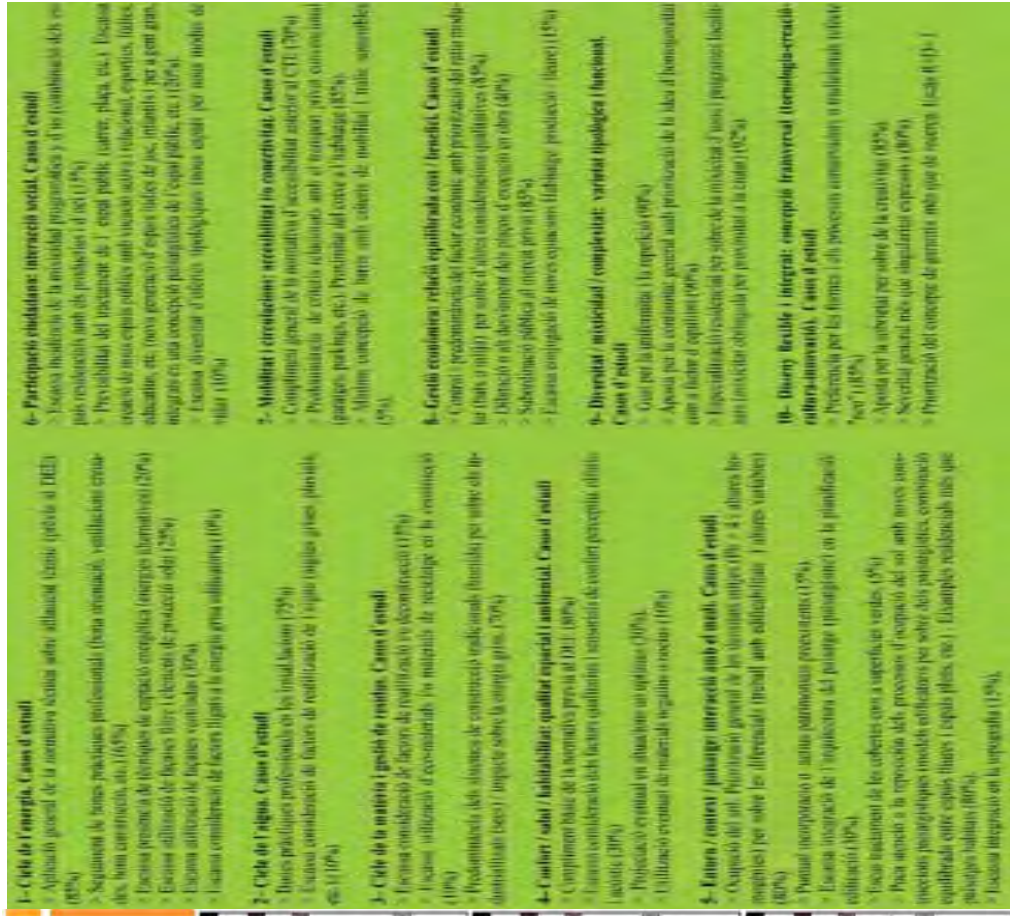


Tota l'operació
Pla Parcial Urbanístic
Sectors
Pla de Sòl Urbà
Clau de colors
Any aprovació urbanisme: 02/11/1982
Superfície del sector: 222.844 m²
Procedent: Inicial
Redactor: Sòlides d'Urbanisme, Oficina del Pla
Programa d'ús
1. Residència
2. Veïdoria
3. Veïdoria
4. Veïdoria



Tota l'operació
Pla Parcial Urbanístic
Sectors
Pla de Sòl Urbà
Clau de colors
Any aprovació urbanisme: 21/01/2001
Superfície del sector: 10.200 m²
Procedent: Urbanització Plaça Segona SA
Redactor: Francesc Homs
Programa d'ús
1. Residència
2. Veïdoria
3. Veïdoria
4. Veïdoria

Figura 13. Diagrama de dinàmiques urbanes segons operacions centrals, de vora o periurbanes. Casos d'estudi a Catalunya. Fitxa tipus i conclusions segons vectors CHS. Font: Gausa, Manuel. «Land links: hiperterritoris/multiterritoris/geourbanitats», a Cap a un habitatge sostenible, CADS, 2010.



cooperació i intercanvi, substituint el concepte d'exemple residencial pel de paisatge habitat; propiciant dispositius d'interacció mediambiental.

- Un tercer factor: reorientar la suburbanitat des de nous criteris de reequipament, connectivitat i cohesió urbans, capaços de recentralitzar la dispersió residencial i reorganitzar els espais intermedis, per implantar nous sistemes d'espais estructurants col·lectius i noves operacions internes de reformulació tipològica en unes àrees residencials tendents a l'emulsió i/o dissolució residencial; propiciant dispositius de connexió estructural.

L'assaig i l'aprofundiment en l'esmentat tipus de qüestions hauria de tendir a plantejar, així, un nou gènere de repertori tipològic des del qual treballar tant amb l'acumulació, com amb l'articulació i amb el paisatge, per donar resposta als grans reptes que es plantegen avui en l'escala urbana:

- Com treballar cap a dins, en els teixits centrals?
- Com treballar al llarg, en els espais de vora?
- Com treballar en i entre, en les àrees disperses?

O, si es prefereix

- Com consolidar o reactivar, reforçar i contenir els nuclis ja consolidats —i els teixits associats—, dotant-los de més càrrega urbana, funcional i estructural.
- Com retraçar i reperfilejar les vores (els límits perimetrals i espais de marge nodal) concebent noves operacions de compactació i de concentració ciutat/ciutat o de transició ciutat/paisatge.
- Com reconvertir i reorientar les grans taques disperses, equipant-les i informant-les amb noves programacions de reurbanització estratègica.

Tres estratègies s'asseverarien complementàries:

- Consolidar, reforçar i reactivar qualitativament els centres;
- Enfortir i perfilar (o modelar) els marges o vores (precisant amb claredat contorns, perimetres i recintes de densitat);
- Rearticular (o reurbanitzar) les àrees disperses de proximitat;

Tot això segons possibles equacions de continuïtat ciutat/ciutat, de contrast paisatge/ciutat o de transició ciutat/paisatge.

Podríem parlar, llavors, de la necessitat de considerar un nou tipus de repertoris tipològics associats a les pròpies estratègies de reavaluació i reactivació urbanes anteriorment descrites. Repertoris concebuts a partir d'estratègies d'aglomeració i concentració edificatòria (brot, recreixements), de connexió i mallat estructural (trames, entramats) o de revessa i relleu superficial (paisatges, noves topografies).

Repertoris plantejats no solament des de les habituals operacions de continuïtat morfològica i sutura contextual —oportunament necessàries— sinó també des de criteris qualitatius de rehabilitació innovadora, de reimpulsió eruptiva, de brot localitzat o d'hibridació (llegiu interacció) paisatgística, generades més enllà d'antics estàndards de densitat, gàlib o altura, més o menys contextuals⁴⁰.

En aquest sentit, la recent aprovació de les ARES (Àrees Residencials Estratègiques) a Catalunya semblava haver afavorit un primer i limitat pas cap a la generació d'un nou tipus de projectes exemplars, que encara requereixen desenvolupar-los oportunament i, per tant, considerar-los com possibles elements tendencials d'un nou tipus de dinàmica urbana.

Caldria, tanmateix, impulsar uns nous tipus de plans pilot, de gestió més oberta i flexible que la inherent a l'articulació administrativa i pública dels ARES (models mixtos, possibles incentius a iniciatives privades, etc.) susceptibles de constituir nous models d'excel·lència, intencionalment tutoritzats, de clara coherència interna, aposta social i conceptual i voluntat creativa i propositiva: en aquest sentit, experiències com les de Sociópolis (València) a Espanya, o Mulhouse i Rézé a França i Vauban (Friburg) a Alemanya, resultarien emblemàtiques... i reveladores d'un cert horitzó encara per assolir.

De la mateixa manera, concebre el territori com un escenari d'intercanvis i simultaneïtats demana, alhora, una nova mirada sobre els tradicionals instruments de planificació i qualificació

40. Vegeu Gausa, Manuel. *Housing, nuevas alternativas, nuevos sistemas*. Barcelona: ACTAR, 1998.



Figura 14. Urbanisme de tres nivells. Diagrama bàsic. Font: Agència d'Ecologia Urbana.

Vegeu: «Models d'ordenació del territori més sostenibles (o un nou urbanisme per abordar els reptes de la societat actual)» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, Barcelona, CADS, 2010.

del sòl, destinada a reavaluar-ne les antigues formulacions. Una ciutat més complexa (susceptible de respondre a l'actual superposició de capes d'interpretació, activitat i vida) s'hauria d'abordar, preferentment, en nivells d'ús i definició, a partir d'una qualificació del sòl basada no ja en planificacions bidimensionals i *zonings* monofuncionals (zones residencials, zones industrials, zones verdes, etc.) sinó en criteris n-dimensionals susceptibles de combinar nivells i estrats d'ús i programació en noves operacions integrades, de mixicitat tridimensional, des de la qual plantejar nous marcs d'interacció entre categories tradicionalment separades (natural i artificial, paisatge i arquitectura, residència-producció-oci, habitatge i equipaments, etc.) activades mitjançant relacions no solament de connexió, sinó d'interconnexió i/o imbricació. Superant així les inèrcies de la visió tradicional, recolzada en plànols 2D i cotes +0 per una nova visió 3D atenta als potencials dels instruments recents de reconeixement i anàlisi, i associada a un nou urbanisme de capes (o nivells) destinat a projectar emergències, sòls i subsòls des d'una concepció integrada de la ciutat.

Diversitat, mixicitat i densitat adequades, combinades amb bones infraestructures (connectivitat, accessibilitat i proximitat) i bones

estructures de vialitat, acurat disseny dels edificis, de la urbanització, dels espais lliures i de relació (jocs, esports, etc.) i del paisatge (natural i urbà), així com una correcta adequació a les sol·licitacions del mercat de l'habitatge i una bona programació d'usos diversos i complementaris al residencial, serien factors susceptibles de constituir una nova generació d'espais referencials, més sostenibles i atents, alhora, a una concepció integral dels cicles de l'aigua, la energia, els materials i els residus, el transport, la gestió econòmica, la participació i interacció socials i l'aposta per la qualitat i la innovació.

24.2. Segona part. Escala edilícia: ciutat-edifici, habitatges i habitatge: paràmetres de disseny, criteris d'acció

24.2.1. El paper de l'edificació en el context del canvi climàtic. Inèrcies i rutines⁴¹

La creació, l'any 1988, del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC), sota el patrocini de l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) i del Programa de les Nacions

41. Apartat a càrrec de Joan Sabaté. Vegeu també Sabaté, Joan, «Construcció i habitatge: objectius i accions», a *Cap a un Habitat(ge) Sostenible*. Barcelona: CADS, 2010.

Unides per al Medi Ambient (PNUMA), va permetre avaluar, amb dades científiques contrastades, els efectes de l'activitat humana i, per tant, de la construcció sobre l'escalfament global i les conseqüències ambientals, econòmiques i socials que comporta. Els successius informes emesos han anat mostrant a la llum pública la intensitat dels canvis produïts i els factors de risc que se'n deriven si no es modifiquen les condicions dels models actuals de desenvolupament.⁴²

Segons el darrer informe de l'IPCC (2007), per tal de mantenir les temperatures entre els 2,4 °C i 2,8 °C, per sobre dels valors anteriors al desenvolupament industrial, caldria mantenir un nivell màxim de gasos amb efecte d'hivernacle per sota de les 535 ppm. Aquesta limitació implicaria aturar l'augment d'emissions arreu del món cap a l'any 2020, i reduir-les entre el 30% i el 60% en arribar al 2050. Malgrat tot, encara que s'aconseguís assolir aquest objectiu, els efectes sobre el clima serien importants, amb canvis en els règims de pluja, increment de fenòmens naturals extrems, pujades en el nivell del mar i empitjorament de les condicions alimentàries i sanitàries de milions de persones arreu del món.

L'estudi encarregat el 2006 pel govern britànic a l'economista i acadèmic Sir Nicholas Stern, vicepresident per al desenvolupament econòmic i director econòmic del Banc Mundial entre 2000 i 2003, analitzava els efectes econòmics del canvi climàtic a partir del concepte del cost de la no-intervenció. Aquest treball plantejava que la reducció dels impactes adversos previstos del canvi climàtic era factible tècnicament i econòmica, sempre que es produís una reacció enèrgica ur-

gent, i que les inversions necessàries per estabilitzar les concentracions de CO₂ eq. entre les 500 i les 550 ppm podien ser de l'ordre del 1% del PIB mundial. Per contra, si no es prenguessin aquestes mesures podria produir-se una crisi econòmica sense precedents, «amb caigudes continuades del 5% del PIB mundial que podien arribar, si es considerava un conjunt més ampli de riscos, al 20% del PIB».⁴³

El mateix informe afirmava que la modificació del clima de la segona part d'aquest segle depenia, en gran mesura, de les accions que s'empenguessin en els propers 10-20 anys, i que els riscos d'actuar massa tard podien comportar trastorns econòmics i socials comparables als de «les grans guerres i la depressió econòmica de la primera meitat del segle XX».

Sabem, així, quins són els principals reptes ambientals: el més important, i potser el més gran que mai ha hagut d'afrontar la humanitat, el canvi climàtic provocat pels gasos amb efecte d'hivernacle (GEH). I gràcies al treball desenvolupat pels científics de l'IPCC, comencem a conèixer les possibles conseqüències d'aquest escalfament global: l'augment de fenòmens meteorològics extrems, els canvis en els règims de pluja o l'augment del nivell del mar. També sabem que no són ni seran homogenis a tot el món. A Catalunya l'increment de les temperatures pot ser important, però potser serà més notable la disminució de les precipitacions, amb escenaris que apunten cap a una reducció del 30% o més.

Existeixen, però, altres amenaces. Arreu del món s'extreuen cada any 20.000 milions de tones (Mt) de pedra, graves i sorra, 1.400 Mt de mineral de ferro per a la indústria siderúrgica i una quantitat similar per a l'obtenció de coure. La quantitat d'acer consumit per càpita a tot el món l'any 2001 arribava als 137 kg per persona, gairebé el doble del que pesa.⁴⁴ L'impacte sobre el medi natural que provoca l'extracció d'aquestes quantitats ingents de materials és enorme, amb uns sistemes de processament dels minerals que generen residus d'elevada toxicitat. En

42. Els informes de l'IPCC descriuen diversos escenaris de futur (IEEE) segons models de desenvolupament demogràfic, econòmic i tecnològic. El model A1 planteja un alt creixement econòmic i de població, amb una introducció ràpida de tecnologies basades en: (A1FI) combustibles fòssils; (A1T) energies d'origen no fòssil o (A1B) amb un sistema mitx. En el model A2 es planteja una demografia creixent, grans desequilibris regionals i una adaptació tecnològica lenta. El model B1 planteja un escenari demogràfic similar a l'A1, però amb una ràpida evolució cap a una economia de serveis i d'informació i, finalment, el model B2 presenta una demografia i un creixement econòmic intermedi, amb solucions locals orientades a la sostenibilitat. Vegeu-ne més informació a <www.ipcc.ch>

43. Stern, Nicholas. *Informe Stern, la verdad sobre el cambio climático*. Barcelona: ed. Paidós, 2007.

44. Brown, Lester R. *Ecoeconomia*. Barcelona: Centre Unesco de Catalunya, 2002, p. 121.

el cas del processament de l'alumini, per cada tona de metall cal processar quatre tones de bauxita, i el procés deixa una tona d'un residu d'elevada perillositat, anomenat *fang vermell*, que s'emmagatzema en grans preses que acaben per contaminar les aigües superficials i subterrànies. En altres casos, l'extracció implica la desforestació de grans àrees de boscos primaris o l'emmetzinament dels hàbitats naturals, com és el cas de l'extracció d'or, a partir de la lixiviació amb cianur.

El model actual de desenvolupament productiu i constructiu solament incrementa el problema: generant productes inútils, o bé d'una utilitat molt limitada en el temps —els anomenats *d'un sol ús*— i fabricant-los amb una enorme ineficiència en l'aprofitament de les matèries primeres i de l'energia. Però la raó d'aquesta situació no rau en el desconeixement dels empresaris o dels polítics, ni en la manca de tecnologies més eficients, sinó en el simple però demolidor motiu que els manca valor econòmic, als costos ambientals, com ara l'exhauriment dels recursos, la degradació de territori i dels ecosistemes, o les emissions de contaminants a l'atmosfera i als rius. Per modificar el model, és necessari atribuir un valor econòmic a tots els elements del cicle, incorporant-los dins del procés econòmic: amb aquests criteris resultaria més raonable procurar tancar els cicles bàsics —els de la matèria, de l'energia i de l'aigua—, que no pas haver de pagar pels efectes ocasionats per la una gestió deficient.

L'exemple més important d'aquesta manera de procedir té milions d'anys: és la natura. N'hem d'aprendre molt, dels sofisticats mètodes naturals. Cal dissenyar un sistema de producció que reinverteixi els residus generats per tal de crear nous productes, i que per fer-ho utilitzi l'única font d'energia de disponibilitat il·limitada i sense danys col·laterals a la vida, que és el sol. Fer-ho ens portarà a substituir les mines per les deixalleries i l'extracció pel reciclatge, utilitzar l'energia renovable del sol i limitar el consum d'aigua dins dels límits de regeneració del propi sistema climàtic.

En aquesta línia, l'arquitecte nord-americà William Mc Donough i el químic alemany Michael Braungart van defensar en el seu conegut llibre *Cradle to Cradle* (2002) un nou model de disseny destinat a incorporar la idea de tancament

dels cicles de vida dels productes.⁴⁵ El concepte de la sostenibilitat apareix, així, associat al tancament dels cicles bàsics de la matèria, l'energia i l'aigua. En la majoria dels casos es poden fixar indicadors objectius, susceptibles de ser previstos i mesurats de manera unívoca. Molts d'aquests indicadors són vells coneguts dels químics i els ecòlegs, i només cal introduir-los en els coneixements i el llenguatge dels actors de l'edificació (arquitectes, constructors, promotors, etc.).

En el cas de la matèria, podem avaluar la massa (Kg) del producte, o la quantitat de matèria (litosfera) necessària per obtenir-lo, les emissions de compostos químics degudes a la fabricació, com ara els causants de la pluja àcida ($\text{Kg SO}_2 \text{ eq. / Kg}$), o les potencialment tòxiques per a la flora, la fauna o l'home. També podem mesurar l'energia, tant la necessària per a la fabricació dels materials (energia incorporada) (Mj/Kg) com l'energia consumida durant la vida útil ($\text{Kw/h m}^2 \text{ any}$), o en ambdós casos valorar-ne l'equivalent en emissions de GEH ($\text{Kg CO}_2 \text{ eq. / Kg}$ o $\text{Kg CO}_2 \text{ eq. / m}^2 \text{ any}$) en funció dels diferents processos de fabricació, o al tipus d'energia consumida. L'aigua, la podem mesurar amb el volum (L) i la qualitat, amb l'anàlisi dels compostos que conté, ja sigui en captar-la o en abocar-la. La mesura pot ser (de fet és) complexa, però permet oferir dades objectives d'eficiència i impacte.

Així, doncs, no hauriem de dir mai més que un edifici, o qualsevol activitat, és *sostenible*, sinó *com és de sostenible*, associant-ho a una mesura i a una unitat comparatives o al valor equivalent d'un edifici estàndard.

Dins dels impactes causats per l'activitat humana, no resulta fàcil de determinar quina és la influència del sector de l'edificació. Tant pel fet de que tots els sectors estan entrellaçats, com per què no existeixen dades homogeneïtzades per a tots els paràmetres. Si considerem només el valor de les emissions de $\text{CO}_2 \text{ eq.}$, el Pla Nacional d'Assignacions de Drets d'Emissió 2008-2012 de l'Estat espanyol atribueix el 25% del total al sector de l'edificació, similar a la petjada ecològica del país relativa a la construcció. Aquest percentatge, però, només té en compte les emissions produïdes per

45. Mc Donough, William; Braungart, Michael. *Cradle to Cradle*. North Point Press, 2002.

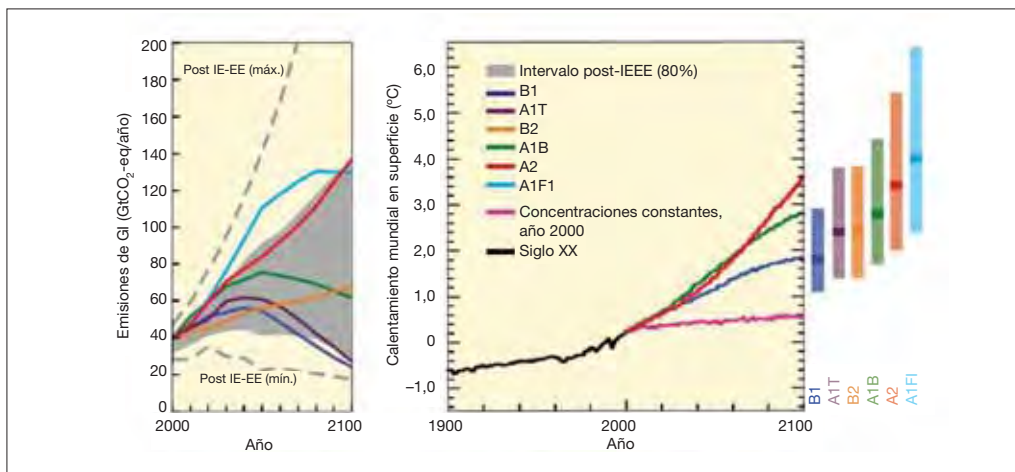


Figura 15. Escenaris d'emissions de GEH entre 2000 i 2100 (en absència de polítiques climàtiques addicionals) i projecció de temperatures mitjanes en la superfície de la Terra.

Font: Sabaté, Joan: «Construcció i habitatge: objectius i accions» a *Cap a un habitat(ge) sostenible*. Barcelona: CADS, 2010.

l'ús dels edificis, i no aquelles derivades de produir-los o demolar-los. Moltes d'aquestes emissions, com les de la fabricació de l'acer, el ciment, el vidre o la ceràmica, estan avui segregades en altres epígrafs, que no es poden sumar directament, ja que també inclouen la producció d'aquests materials per a l'obra pública o altres usos industrials.

A Catalunya, el Decret 21/2006 d'ecoeficiència (DEE) atribueix a l'edificació el 40% de les emissions de CO₂ eq. sense especificar quins conceptes hi estan inclosos i quins no. Les dues xifres resulten poc concretes i probablement inferiors a la realitat. A més, de manera indirecta, la forma de les edificacions i particularment del model urbà, és responsable d'una part molt considerable dels desplaçaments dels ciutadans, i per tant de part també de les emissions associades al sector transport i a la fabricació dels vehicles.

En aquest sentit, resulta força més precís el concepte de metabolisme urbà, que s'ha utilitzat en altres apartats d'aquest mateix treball, per descriure el conjunt d'efectes del model urbà i de l'edificació sobre el medi ambient. Amb aquesta perspectiva més general, no resulta exagerat afirmar que les opcions d'eficiència dels models urbans i d'edificació poden afectar més del 50% de les emissions actuals de CO₂ eq. produïdes a Catalunya.

Si considerem les diverses fases del cicle de vida d'un edifici —és a dir, tots els processos relacionats amb la producció, el transport, la po-

sada en obra i els consums durant la vida útil dels materials, i l'enderroc i la gestió dels residus que s'hi produeixen— i ho apliquem als cicles de la matèria, l'energia i l'aigua, obtindrem gràfics de gestió de cicles diversos, depenent de si concebem aquests cicles oberts o tancats.

Els grans objectius de la sostenibilitat en el camp de la construcció i l'habitatge passen, doncs, per una reducció de la demanda i la millora d'eficiència en tots els tres cicles analitzats.

— La reducció de la demanda en l'edificació no pot limitar-se, però, a les noves construccions, sinó que cal actuar sobre el parc existent. Cada nou edifici construït⁴⁶ representa un increment a la suma total de recursos materials utilitzats i energia consumida; així, l'única manera d'aconseguir una reducció en les emissions del sector de l'edificació ha de passar per limitar les noves construccions i millorar l'eficiència dels edificis existents. L'acompliment de la directiva impulsada per la UE amb l'objectiu de reduir en un 20% la demanda energètica l'any 2020,⁴⁷ impli-

46. Excepte si es tracta d'un edifici realitzat exclusivament amb materials i energia renovables.

47. El Consell Europeu dels dies 11 i 12 de desembre de 2008 va aprovar un compromís de reducció per a l'any 2020 i respecte de les dades de 1990, de les emissions de GEH en un 20% (i fins a un 30% si els altres grans països del món es comprometen a realitzar reduccions similars); d'augmentar

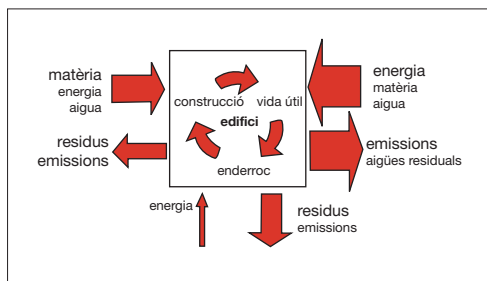


Figura 16. Cicle de vida d'un edifici convencional: gran consum de matèria primera; ús intensiu d'energia fòssil, amb les corresponents emissions de CO₂ eq., tant en la fase de construcció com en la l'enderroc; la gran producció de residus amb un baix nivell de reciclatge, i l'elevat consum d'aigua tractada i de producció d'aigües residuals (paradoxalment major que el consum d'aigua potable, ja que incorpora les escorrenties de la pluja).

Font: Sabaté, Joan: «Construcció i habitatge: objectius i accions» a Cap a un habitat(ge) sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

caria la rehabilitació del 33% del parc construït actual, amb una reducció mitjana del consum del 65%. Arreu de Catalunya, representaria la rehabilitació de més de 70.000 habitatges l'any, a més de la part proporcional d'equipaments i edificis d'oficines. Un autèntic repte financer, tecnològic i de gestió, que implica la creació de nous models constructius i d'instal·lacions, i alhora un gran incentiu per superar la crisi i recuperar el ritme de l'activitat econòmica.

— L'aposta per un creixement sostenible obliga, al mateix temps, a modificar decisivament el model econòmic i tecnològic vigent. Passar a un sistema de producció que internalitzi els costos ambientals i tanqui els cicles de la matèria i l'energia implica revisar l'actual maquinària de producció i moltes de les metodologies heretades, poc pertinents per encarar el futur. En el cas particular del sector de la construcció (que no ha entrat encara a fons en les pràctiques regulades de la indústria) les transformacions serien encara més importants. La mateixa organització del sector, amb diferents agents que hi intervenen com a responsables de limitades fases del procés, els pro-

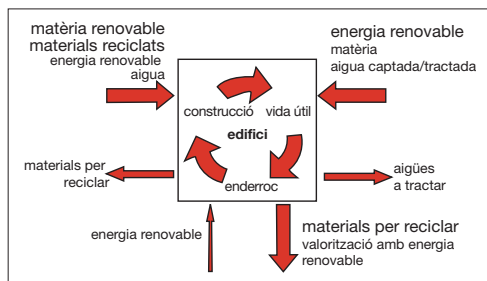


Figura 17. En el segon model s'han substituït les matèries primeres per renovables o reciclades, l'energia s'ha reduït dràsticament i és de producció renovable, i el consum d'aigua s'ha reduït, diversificant-se en potable, grises i de captació. Font: Sabaté, Joan: «Construcció i habitatge: objectius i accions» a Cap a un habitat(ge) sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

cediments de contractació i adjudicació, la compartimentació entre la realització i l'explotació dels edificis provoquen inèrcies i dificultats per assumir la transformació necessària. Tanmateix, l'edificació té un pes fonamental en la definició de la demanda de tota la societat, i per tant no és possible pensar en models econòmics sostenibles sense una clara contribució d'aquest sector.

— Finalment, la sostenibilitat ha de ser també un referent en la millora de la salut i el benestar de les persones, incorporant el concepte de biohabitabilitat en la concepció dels edificis. Vivim cada vegada més envoltats de materials emissors de substàncies químiques, d'ones d'alta i baixa freqüència, de camps elèctrics i electromagnètics... i gairebé no hem fet estudis a llarg termini de les influències que poden tenir en la nostra salut i benestar, i que haurien de fer-nos reflexionar sobre la importància d'aquest àmbit en l'arquitectura.

24.2.2. Objectius i accions per a la sostenibilitat. Cicles bàsics i factors associats⁴⁸

Per tal de definir els objectius de millora de la sostenibilitat en el camp de l'edificació, que haurien d'incorporar-se a les polítiques de construcció i especialment a les d'habitatge, l'*Informe cap a un habitat(ge) sostenible* es va acompanyar de tota una sèrie d'accions concretes estructurades en els quatre grans àmbits anteriorment mencionats. Els tres primers es corresponen als tancaments amb

⁴⁸ l'ús d'energies renovables (eòlica, solar, biomassa, etc.) fins el 20% de la producció total (actualment representa al voltant del 8,5%) i a reduir el consum en un 20% gràcies a una major eficiència energètica. Vegeu-ne més informació a <http://ec.europa.eu/climateaction/index_es.htm>.

48. Apartat a càrrec de Joan Sabaté.

els cicles de la matèria, de l'energia i de l'aigua, i recullen objectius i accions destinades a reduir els impactes sobre el medi i apropar-ne els cicles al tancament. El darrer àmbit recolliria estratègies de millora de la biohabitabilitat, amb objectius compartits dirigits a:

- Tancar el cicle de la matèria.
- Tancar el cicle de l'energia i reduir les emissions de CO₂ eq.
- Tancar el cicle de l'aigua.
- Millorar el confort, la salut i la biohabitabilitat dels edificis.

En cadascun d'aquests àmbits es defineixen uns objectius generals, unes accions incidents i una sèrie de mesures específiques identificades amb medis i actors per dur-les a terme.

El conjunt dels quatre àmbits inclou 15 objectius generals, 52 accions i 265 mesures concretes d'actuació. Aquestes propostes d'actuació fan referència a totes les fases del procés: la planificació urbanística, el projecte, la construcció i l'ús dels edificis. També es consideren un conjunt d'aspectes que incideixen en la presa de decisions, ja siguin aspectes normatius, econòmics, socials o urbans. Algunes de les iniciatives proposades requereixen l'actuació de les autoritats públiques, com la modificació de normatives, els ajuts o les polítiques fiscals; altres, són recomanacions per als autors, tècnics, promotors o usuaris finals. Quasi totes podien ser quantificades, tant en els aspectes de reducció dels impactes com en el cost econòmic d'implantar-les o la relació cost-benefici.

En alguns casos, disposem de les dades necessàries per fer-ho. Aquest és el cas, per exemple, de l'àmbit 02, tancar el cicle de l'energia i reduir les emissions de CO₂ eq. En aquest àmbit, les millores d'eficiència, tant en edificis de nova construcció com en rehabilitacions, pot ser molt important, i disposem d'eines per avaluar-la. En alguns projectes (en fase de construcció), els resultats de les simulacions donen reduccions de climatització, en edificis no residencials, superiors al 80%,⁴⁹ o del 72%⁵⁰ en els consums de

clima i producció d'aigua calenta sanitària (ACS) en promocions d'habitatge públic. En ambdós casos, respecte d'edificis convencionals del mateix ús i en el mateix emplaçament, i amb increments de costos que permeten una amortització inferior als 10 anys (amb una rendibilitat anual de la inversió propera al 10%). En certes promocions d'habitatge públic en curs, s'han obtingut reduccions d'emissions de CO₂ eq. del 40% al llarg de tot el cicle de vida d'un edifici, amb un increment de costos del 4,5%. En l'àmbit 03, tancar el cicle de l'aigua, també disposem de dades de reducció contrastades superiors al 50% en diversos edificis d'habitatge públic. En altres àmbits com el 01, tancar el cicle de la matèria, i especialment el 04, millorar el confort, la salut i la biohabitabilitat dels edificis, la manca d'estudis previs ens limita a l'hora de donar xifres de millora, tot i que en general poden ser obtingudes per procediments analítics o estadístics (apartat 01) o per medició directa (apartat 04).

De les línies d'actuació proposades, se'n poden extreure tanmateix algunes característiques comunes, que defineixen mancances i potencialitats que caldria tractar adequadament, especialment a un país amb ambició proactiva. Catalunya pot ser, en efecte, un país de referència en el desenvolupament de noves estratègies d'edificació sostenible en climes càlids, i transformar un problema, el de l'eficiència, en un capital exportable, tal com succeeix en els àmbits de la recerca biològica o de la salut.⁵¹

50. Seixanta habitatges a Can Vergonyós, Tossa de Mar, projectat per SaAS per encàrrec de l'INCASOL i estudi sobre les possibilitats de reducció d'emissions de CO₂ en habitatge social, finançat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge del govern català, dirigit per J. Sabaté i A. Cuchí, i amb la participació SaAS (A. Moreno i H. Espeche); SO (A. Sagrera, G. Wadel i F. López) i l'EALS (J. Vidal i S. Cantos). Mes informació a <www.saas.cat>.

51. Però el camí a recórrer és llarg. Per tal de potenciar els aspectes d'innovació caldria adoptar una sèrie de mesures de forma imminent. Aquestes haurien de ser:

- Millorar el coneixement i la recerca: amb suport als dispositius d' R+D+i, existents, incentivació a agents de canvi necessaris i impuls d'experiències pilot i projectes d'excel·lència, amb resultats mesurables i replicables.
- Modificar el marc d'actuació: amb una revisió del marc normatiu tècnic (amb mancances) i urbanístic (obsolet), de les dinàmiques de contractació pública, gestió constructiva i manteniment i control, així com una simplificació dels processos administratius i una millora de la competitivitat.

49. Banc de Sang i de Teixits de Catalunya, projectat per SaAS amb JG enginyers, per encàrrec del Consorci de la Zona Franca, l'ajuntament de Barcelona i el Banc de Sang i Teixits de Catalunya, del Departament de Salut. Mes informació <www.saas.cat>.

24.2.2.1. Estratègies i models de reducció de CO₂ eq. a l'edificació⁵²

Per tal de determinar les possibilitats de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, habitualment associades a la denominació CO₂ eq., cal analitzar els àmbits i els moments on es produeixen i valorar-ne les opcions de reducció. Una guia de reducció tindria l'itinerari següent:

a) La producció, transport i posada en obra dels materials que conformen l'edifici és el primer àmbit, des del punt de vista cronològic, on es necessita energia. L'energia per produir un edifici, que s'anomena *energia incorporada*⁵³ constitueix el valor inicial de l'energia i les emissions associades a la matèria de l'edificació. Si utilitzem un símil econòmic, podriem parlar de capital inicial, o inversió. Si prenem les emissions de CO₂ eq. en un edifici d'habitatges convencional amb una vida útil estimada de 50 anys, aquesta inversió podria significar entre el 30% i el 40% del total de les emissions. En l'extrem oposat del cicle de vida, en el moment de la demolició, ens trobem amb una opció possible de malbaratament o, al contrari, amb un potencial de recuperació d'aquesta inversió inicial: el reciclatge. És cert que el mateix procés de desconstrucció consumeix una energia suplementària, però d'un valor notablement més baix que el procés de construcció. Si construïm de manera que els materials utilitzats, una vegada finalitzada la vida útil que tenen, puguin tornar a ser utilitzats com matèria primera d'altres cicles materials, podem recuperar una part de les emissions inicials assignades. L'energia i les emissions que podem recuperar d'aquests materials poden anomenar-se *capital romanent* (o energia romanent) del sistema. Si sumem el cost (energètic) inicial de l'edifici més el manteniment, les reparacions i la substitució de com-

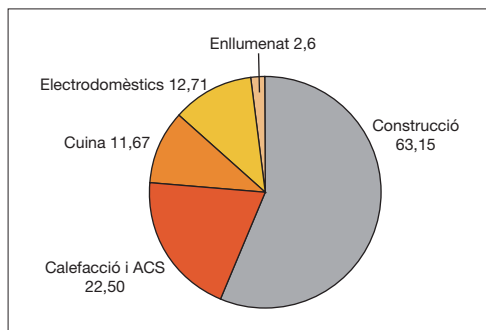


Figura 18. Energia consumida (kWh/m² any) per un habitatge d'alta eficiència energètica a Catalunya en els diferents apartats i durant un període de vida útil de 50 anys.

Font: Sabaté, Joan, «Construcció i habitatge: objectius i accions» a Cap a un habitatatge sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

ponents, i li restem el valor de l'energia romanent, obtindrem el valor final del procés global de producció i construcció de l'edifici.

La resta, gairebé, és a dir entre el 60% i el 70%, correspondria a l'energia consumida durant la vida útil de l'edifici. La relació entre aquests percentatges varia segons l'eficiència en cadascuna de les fases. En la mesura que incrementem l'eficiència durant la vida útil de l'edifici, amb la millora del comportament tèrmic o de l'eficiència de les instal·lacions, el valor relatiu de l'energia incorporada augmenta en importància percentual. Tal com hem pogut constatar, en un estudi finançat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge⁵⁴ de la Generalitat, en un edifici d'alta eficiència energètica, i en què, per tant, s'han reduït els costos d'explotació, sense modificar de manera substancial els sistemes de construcció, les emissions degudes als materials arriben a representar gairebé el 60% del total.

Si analitzem amb més detall els components de l'energia incorporada, resulta significatiu el pes que tenen les emissions d'alguns materials, i especialment les degudes al formigó armat, que representen en l'estudi un 40% de les emissions totals associades als materials. Les emissions degudes

– Generar mecanismes que incentivin el canvi, amb un impuls a les polítiques d'incentius fiscals, a les polítiques de promoció i difusió social, i a una valoració de les apostes innovadores, donant suport als seus actors i assumint (amb processos de garantia) els riscos de tota aposta qualitativa.

52. Apartat a càrrec de Joan Sabaté.

53. El concepte anglosaxó *embodied energy* podem traduir-lo com 'energia incorporada' o 'energia in corpore'.

54. Estudi sobre les possibilitats de reducció d'emissions de CO₂ en habitatge social, finançat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge del Govern català, dirigit per J. Sabaté i A. Cuchí, i amb la participació de SaAS (A. Moreno i H. Espeche); SO (A. Sagrera, G. Wadel i F. López) i l'EALS (J. Vidal i S. Cantos).

Materials amb més del 5% d'emissions de CO ₂ per capítols			
Materials	Kg · CO ₂ /m ²		Concentració segons capítols
Acer	113,85	20,50%	34% fonaments i murs de contenció, 60% estructures
Maó ceràmic	68,28	12,29%	98% tancaments primaris
Ciment	66,01	11,89%	46% fonaments, 21% estructures, 27% tancaments primaris
Alumini lacat	52,83	9,51%	100% tancaments secundaris
Form. prefabricat	28,13	5,06%	100% estructures
Totals	329,1	59,25%	

Taula 1. Materials amb una aportació d'emissions de CO₂ eq. superior al 5% del total de l'edifici, per a un habitatge que compleixi el CTE i el DEE.

Font: Sabaté, Joan: «Construcció i habitatge: objectius i accions» a Cap a un habitat(ge) sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

al formigó s'han vist incrementades per l'entrada en vigor de la Instrucció del Formigó Estructural, EHE. Amb l'objectiu de millorar la seguretat i la durabilitat dels formigons, aquesta norma ha incrementat de manera important les resistències característiques dels formigons utilitzats, així com la quantitat de ciment de la barreja, dos factors que incideixen directament en les emissions. Entenem que és possible garantir les mateixes prestacions amb estratègies que no resultin contraproduents en els aspectes ambientals.

Ahora, caldria revisar la utilització sistemàtica del formigó armat com a sistema estructural, i substituir-lo quan sigui possible per altres sistemes amb menor energia incorporada, com poden ser les fàbriques de ceràmiques tradicionals, i especialment per sistemes basats en fusta estructural derivats.

En l'estudi realitzat, el tercer material més emissor és l'alumini utilitzat en els tancaments i les persianes. És significatiu que l'alumini, que representa menys del 0,08% de la massa d'un edifici, aporti el 10% de l'energia incorporada. Una opció per tal de reduir aquesta aportació és utilitzar productes que garanteixin un alt percentatge de metall procedent del reciclatge. L'obtenció de metalls a partir de reciclatge (ferralla en el cas de l'acer) redueix molt els consums d'energia i permet obtenir un producte amb la mateixa qualitat que l'original. Amb accions limitades de racionalitat constructiva, com poden ser la realització d'estructures racionals (amb dimensions ajustats) i, sobre tot, l'ús de sistemes industrialitzats, la utilització de fusta per a les fusteries i proteccions solars i l'ús de materials reciclats,

especialment dels àrids i metalls, podem reduir un 30% de les emissions degudes a l'energia incorporada.

Per obtenir una reducció més significativa, hem de plantejar canvis de major importància en la concepció de l'edifici. Es tracta d'imposar la progressiva substitució dels sistemes de construcció mineral (on la major part de la massa de l'edifici ha hagut d'escalfar-se a causa dels diferents processos de producció, a temperatures properes als 1.000 °C) per models més orgànics, en els quals els materials bàsics provenen de la biosfera. Aquests biomaterials requereixen molt poca energia per ser transformats, i posseeixen una característica singular: estan formats per carboni, que ha estat fixat prèviament per l'acció de la fotosíntesi, de manera que en la mesura en què els utilitzem, estem segrestant importants quantitats de CO₂ de l'atmosfera.

Per donar una idea dels valors que podem aconseguir amb aquesta transformació, n'hi ha prou de comparar les emissions degudes a 1 m³ de formigó armat estructural amb les corresponents a un volum mecànicament equivalent de fusta laminada, posem 1,50 m³. En el cas del formigó, la producció d'1 m³ d'estructura pretesada emet un terme mitjà de 450 Kg de CO₂, mentre que 1 m³ de fusta laminada de pi, absorbeix uns 792 Kg de CO₂. Així, si substituïm 1 m³ de formigó per 1,50 m³ de fusta, obtenim una reducció d'emissions de 2.035 Kg de CO₂.

En qualsevol cas, una dinàmica orientada a reduir l'energia incorporada en la construcció de manera notable hauria de tenir en compte el protocol següent:

1. Evitar estructures poc racionals, o elements flectats amb relacions cantell/llum massa reduïdes, i ajustar estrictament les seccions estructurals a les exigències mínimes.
2. Limitar la construcció de plantes subterrànies per a usos no imprescindibles (espais tècnics, xarxes d'instal·lacions) construint per exemple edificis sobre rasant per als apartaments.
3. Reduir l'ús sistemàtic de fonamentacions profundes, evitant construir en zones amb terrenys poc resistents, o fer-ho amb càrregues que permetin fonamentació superficial.
4. Utilitzar materials reciclats en totes les aplicacions en les quals resulti viable, especialment en els àrids i metalls; utilitzar materials procedents de residu (reciclatge o compostatge) per incorporar massa als edificis (per millorar les prestacions acústiques i obtenir massa tèrmica).
5. Limitar l'ús d'alumini especialment en funcions estructurals (com a element resistent dels tancaments i murs cortina) substituint-lo per fusta laminada (que pot incorporar proteccions en els llocs més compromesos per l'aigua i la intempèrie) i exigint un alt percentatge d'alumini reciclat.
6. Utilitzar de manera preferent productes renovables procedents de la biosfera (que actuen com a dipòsits de CO₂), per a totes les actuacions on sigui possible: estructures i tancaments de fusta, aïllaments de fibres de cel·lulosa o fusta, suro o llana, paviments de linòleum o fusta.
7. Utilitzar materials minerals de baixa energia incorporada, com per exemple fàbriques de tàpia.

b) El segon gran àmbit de demanda energètica el constitueix el d'aquell consum d'energia necessària per a la utilització de l'edifici durant la vida útil, i les emissions associades a aquest ús (energia útil). En termes econòmics, podríem assimilar aquest concepte al cost del manteniment. Com ja indiquem, es tracta normalment de la part més significativa, fins al punt que, sovint quan ens referim a l'energia consumida pel sector de l'edificació, ens hi referim exclusivament. Com a exemple, valgui assenyalar que en el DB HE d'estalvi energètic del CTE, es fa referència exclusivament a l'energia destinada a la climatització i a la producció d'aigua calenta sanitària i als

equips d'il·luminació. En un edifici d'habitatges convencional, l'energia destinada a la calefacció i a la producció d'aigua calenta sanitària (ACS) pot representar el 50% del total consumit en tot el cicle de vida. Això justifica que sigui el primer àmbit d'actuació quan ens plantejem l'eficiència energètica, encara que, com hem vist anteriorment, per assolir reduccions superiors al 30% del consum total, haurem d'incidir en els altres àmbits.

– La demanda energètica d'un edifici depèn de factors externs, com ara el clima o la insolació; de situacions internes, com per exemple la calor dissipada per les persones i els aparells que les ocupen, i de factors intrínsecs a l'edifici, especialment de les característiques del seu envoltant. La idea més estesa del tancament és que la funció que té consisteix a aïllar l'interior del medi exterior. Com sovint sol passar, les paraules mostren més del que sembla i descobreixen el significat ocult de les coses. Aïllar significa separar, evitar completament tot contacte. La nostra pell i els nostres òrgans no ens aïllen de l'entorn, ens protegeixen d'allò que no és adequat, el fred, la pols o la calor excessiva, i permeten que penetri allò que necessitem, la llum, l'aire, la calor del sol. La funció dinàmica de la nostra pell és molt més intel·ligent i sofisticada que l'aïllament, però implica una capacitat de control, obrir o tancar passos, que redunda en un aprofitament de les condicions del medi, i per tant en la reducció del consum. Per controlar el pas de calor i humitat entre l'exterior i l'interior, disposem d'un nombre limitat de mecanismes, però que combinats permeten infinites variacions. L'aïllament, la inèrcia tèrmica, el control de la ventilació, el control solar i la gestió dels intercanvis d'humitat i vapor constitueixen la pedra angular d'un plantejament correcte dels tancaments. Són només cinc mecanismes, però permeten un amplíssima gama de matisos. Per projectar tenint-los en compte hauríem d'entendre i atendre les raons de cada un d'aquests mecanismes i ser capaços d'utilitzar-ne correctament els conceptes i de preveure'n les implicacions. Una ajuda fonamental a l'hora de configurar els tancaments, i que ha de servir per corroborar el que diu la intuïció, és la utilització de programes dinàmics de simulació de la demanda, que poden propiciar reduccions de fins

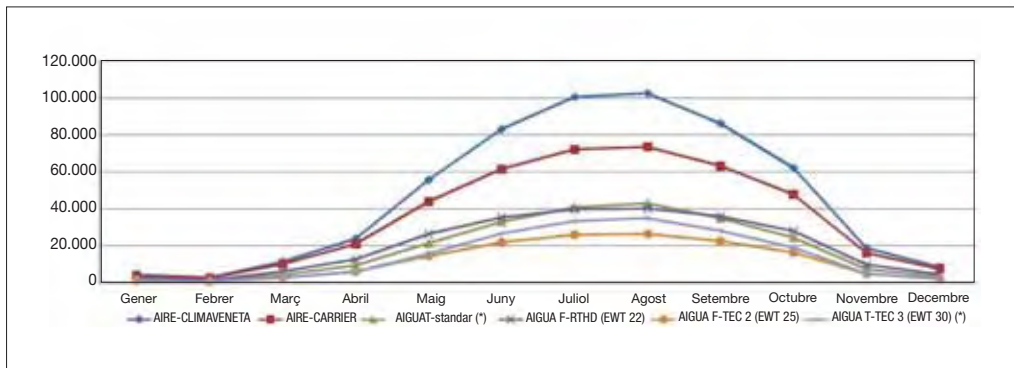


Figura 19. Consums estimats per a la producció de fred i calor en funció de diferents opcions d'optimització. La línia superior correspon al consum que requeriria un edifici amb el mateix ús complint estrictament la legislació actual; la inferior, en baix, la solució final.

al 30%, sense necessitat d'opcions sofisticades ni increments de costos significatius.

– Una vegada assolida una reducció significativa de la demanda, el segon pas és incrementar l'eficiència de les instal·lacions tèrmiques o l'eficiència dels equips. Hauria d'analitzar-se, en aquest sentit, el funcionament dels sistemes de distribució i producció de climatització, i utilitzar aquells sistemes amb una millor relació entre energia aportada —kWh d'electricitat o m³ de gas— i energia tèrmica —calor o fred— obtinguda. Considerant exclusivament els sistemes de generació, el valor pot variar molt en funció de la tecnologia escollida i el percentatge de potència total utilitzada; d'aquí la necessitat d'un càlcul ajustat, i no d'una estimació a l'alça, i de la utilització de sistemes escalables. L'increment de l'eficiència implica tot el sistema energètic a més de la generació: bombes de volum variable, dimensionat correcte i aïllament dels conductes, utilització de mecanismes d'estalvi directe, com el *free cooling* (refrigeració per ventilació forçada amb aire exterior), mecanismes de recuperació de calor o la utilització de sistemes col·lectius de generació amb tarifació individual, més eficients que els individuals. Amb uns sistemes ben dimensionats, i sense massa sofisticació, la millora de l'eficiència de les instal·lacions pot arribar al 50%.

– Finalment, serà fonamental preveure la gestió de tots els sistemes, actius o passius, de control del clima. Aquests mecanismes poden anar des de l'obertura manual de les finestres o de les

proteccions solars, fins a complexos sistemes de control totalment automatitzats. Els increments de consum deguts a la gestió ineficaç poden ser de l'ordre del 30%, o fins i tot del 40%, respecte dels calculats. Amb uns usuaris implicats en l'objectiu de la sostenibilitat, els mecanismes poden ser molt simples, una mínima instal·lació amb alguns sensors i una mínima dotació de mecanismes ajustables. Tanmateix, en una situació més general, amb usuaris poc o gens compromesos, l'experiència indica que resulta perillós confiar en mecanismes que han d'estar regulats directament per l'usuari. La suma d'eficiències de totes aquestes mesures resulta espectacular. Amb una reducció de la demanda del 30%, uns sistemes que incrementen l'eficiència en un 50% i un adequat sistema de control, els consums d'energia associats a la climatització i l'ACS, podrien oscil·lar del 25% dels d'un edifici convencional, per obtenir estalvis reals de fins al 75% del consum convencional.

c) Per tal de millorar les condicions de sostenibilitat i reduir les emissions de CO₂ eq. del sector de l'edificació, és necessari desenvolupar nous models arquitectònics i tecnològics que ofereixin millors prestacions que els habituals.

Un exemple de contribució en l'elaboració d'aquests nous models va ser l'estudi (presentat dins l'estand del Departament de Medi Ambient i Habitatge a Construmat 2007) de les emissions de CO₂ eq., al llarg de tot el cicle de vida, d'un edifici prototípic resolt amb diversos sistemes

constructius i d'instal·lacions.⁵⁵ Aquests sistemes canviaven des dels més convencionals als més eficients en l'ús dels recursos, amb cinc exemples d'obra nova i un de dedicat a la rehabilitació. Es tractava de visualitzar diferents opcions tecnològiques i constructives aplicades a un mateix tipus edificatori, de manera que es poguessin apreciar amb claredat els resultats obtinguts en la millora de l'eficiència, i el cost necessari per implantar-los, així com els respectius graus de reducció d'emissions de CO₂.⁵⁶

Les possibilitats considerades incloïen les relacionades amb la construcció de l'edifici: com ara les produïdes per la fabricació, el transport i la posada en obra dels materials; el manteniment i la reposició durant l'ús, i la demolició i el reciclatge en finalitzar la vida útil; i les relacionades amb l'ús de l'edifici, com les produïdes per la climatització, l'aigua calenta sanitària (ACS), la il·luminació, el consum dels electrodomèstics i la cuina.

La suma de les emissions (Kg de CO₂ eq./m² i any) es va comparar amb les que produiria un edifici amb la mateixa geometria i emplaçament, però construït amb sistemes convencionals, que complís estrictament les determinacions de la normativa. El projecte va incorporar millores susceptibles de ser aplicades de manera generalitzada a les promocions d'habitatge públic.

Es van considerar una sèrie de condicions, com ara la utilització de sistemes constructius convencionals, incorporant-hi tan sols petites millores, el manteniment de les tipologies dels habitatges i un increment màxim del cost de la construcció. Tot i la limitació inicial, les millores van ser notables: les emissions de CO₂ eq. degudes a la climatització i a aigua calenta sanitària podrien reduir-se en un 73%, mentre que els corresponents a tot el cicle de vida arribaren al 42%. La utilització d'aigua potable es reduiria en un 65%, gràcies a la reutilització d'aigües grises i a la captació d'aigua de pluja.

En conjunt, aquestes millores van implicar un increment de preu, respecte al valor inicial de referència fixat per l'INCASOL, de només un 4,5%.

A partir de les dades d'aquest estudi, es van plantejar cinc models d'extrapolació, amb diverses eficiències per a obra nova i un cinquè per a rehabilitació (vegeu seccions tipus i quadre adjunts): els models proposats representaven situacions característiques respecte de l'eficiència, ja fos perquè corresponien a canvis normatius, o bé perquè marcaven camins nous de millora.⁵⁷

El treball realitzat demostra que és possible reduir les emissions de CO₂ eq. de l'edificació de manera notable, i que els increments de costos necessaris són molt limitats respecte dels beneficis obtinguts (amb relacions molt més favorables que en les inversions necessàries per a la millora de la producció).⁵⁸

58. Als darrers anys ben pocs esforços s'han fet a Catalunya per analitzar, amb detall i precisió, l'ús que es fa de l'energia als edificis i als habitatges. L'any 2006, l'ICAEN va fer públic un treball sobre aquesta temàtica a partir de 1.200 enquestes realitzades l'any 1997, però avui aquest treball possiblement hagi quedat desfasat, donats els increments recents de consum d'energia experimentats per la societat catalana. En ell es deia que el consum mitjà d'energia d'una llar a Catalunya era de 7.752 kWh/any. Un estudi molt més detallat, encomanat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge per avaluar les emissions de gasos d'efecte hivernacle al sector domèstic, conclouia que per les diferents tipologies d'habitatge existents, per la data de construcció i per cadascuna de les zones climàtiques definides, els consums anaven entre 6.500 i 17.500 kWh/any. L'estudi donava una xifra per a un habitatge de referència a Catalunya de 7.600 kWh/any, repartits de la següent manera: calefacció, 2.550; refrigeració, 65; aigua calenta sanitària, 1.975; il·luminació, 540 i equipaments, 2.470 kWh/any. Per tant, una família mitjana, a Catalunya, necessita per proveir-se de serveis d'energia tèrmica 4.590 kWh i 3.010 kWh per proveir-se dels serveis d'energia elèctrica. Això vol dir unes densitats de potència, promitjada al llarg de l'any, de 524 i 344 W/m² per família. Suposant que una família tenia 3,14 persones, en resulten unes densitats de potència per càpita de 167 i 109 W/m². Proveir les necessitats energètiques, tèrmiques i elèctriques, d'una llar de Catalunya amb la captació de l'energia solar (conversió tèrmica i conversió fotovoltaica) requereix unes superfícies de captació de 5,5 m² i 14,3 m² respectivament. Vegem les dades de l'Estat espanyol: l'any 2000, una família mitjana necessitava per proveir-se dels serveis d'energia tèrmica 7.523 kWh i 2.612 kWh per proveir-se dels serveis d'energia elèctrica. Això vol dir unes densitats de potència, promitjada al llarg de l'any, de 859 i 298 W/m² per família. Com que en mitjana, l'any 2000, una família tenia, 3,14 persones, en resulten unes densitats de potència per càpita de 274 i 95 W/m² (Taula 6). Proveir les necessitats energètiques d'una llar de l'Estat espanyol amb la captació de l'energia solar (conversió tèrmica i conversió

55. Id. nota 54.

56. L'edifici escollit corresponia a un projecte real: la construcció de 60 habitatges de Can Vergonyós a Tossa de Mar, promogut per l'Institut Català del Sòl (INCASOL) i redactat per Sabaté associats Arquitectura i Sostenibilitat (SaAS).

57. Emissions corresponents al total de la energia incorporada i l'energia consumida durant la vida útil, expressada en Kg CO₂/m² any aplicat a la superfície útil dels habitatges.

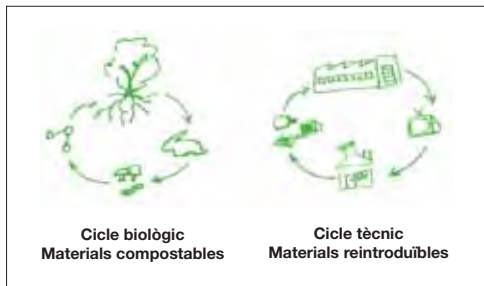


Figura 20. Economia de materials segons el model 'del bressol al bressol'.

Font: Cubiña, Ignasi. Habitatge i hàbitat - beneficis socials, econòmics i ecològics. EIG, 2009.

24.2.2.2. Marc normatiu i nous vectors ambientals⁵⁹

El Govern de la Generalitat va aprovar l'any 2006 el Decret 21/2006, d'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis (DEE), per tal d'acostar les pautes d'edificació vigents als criteris de desenvolupament sostenible. Aquest decret va fixar quatre àmbits d'actuació: aigua/energia/materials i sistemes constructius/residus, establint unes condicions mínimes generals i una sèrie d'opcions segons una llista, que es valoren amb un sistema de punts. Qualsevol edificació a Catalunya ha de complir les condicions generals i obtenir-ne un mínim de deu.

Dins de les condicions fixes, el decret d'ecoeficiència estableix les següents condicions:

- Implantació de xarxes de sanejament amb un tractament diversificat de les aigües pluvials i residuals.
- Incorporació de mecanismes de reducció del consum d'aigua.

fotovoltaica) requereix unes superfícies de captació de 8,2 m² i 11,5 m² respectivament. Ara bé, el potencial de reducció dels actuals nivells de proveïment d'energia a la llar són considerables, tal com es reconeix des de diferents àmbits i . Això vol dir que les densitats de potència podrien estar molt per dessota de les xifres donades abans, amb la qual cosa les superfícies de captació solar també es podrien reduir de manera considerable. Però per assolir fites ambicioses de reducció cal fer actives polítiques d'incentivació i polítiques actives d'introducció al mercat de les tecnologies de subministrament i d'ús final més eficients disponibles. Vegeu, a més, Puig, Josep: «Com fer les ciutats a imatge de la natura?» a *Cap a un Habitat(ge) Sostenible*. Barcelona: CADS, 2010.

59. Apartat a càrrec de Joan Sabaté i Manuel Gausa.

- Reducció del coeficient mitjà de transmissió tèrmica límit i del factor solar de les obertures.
- Obligatorietat de cobertura per a la producció d'aigua calenta sanitària amb energia solar tèrmica.
- Previsió d'espais per afavorir la recollida selectiva en habitatges.
- Incorporació d'un pla de gestió de residus per a la construcció dels edificis.

Paral·lelament al sistema de compliment obligatori, el DEE incorpora un sistema de punts sobre un catàleg d'opcions constructives amb l'obligació d'aconseguir-ne un mínim de deu i que, també com a mínim, una família dels productes emprats en la construcció de l'edifici disposi d'un distintiu de garantia de qualitat ambiental.

Tal com es pot veure pel llistat de solucions proposades, es tracta d'una normativa molt finalista, en què es valoren de manera qualitativa opcions de natura molt diferent, sense plantejar una valoració quantitativa de les millores aportades per cadascuna, en termes d'energia consumida (KWh/m² · any) o emissions (kg CO₂/m² · any). En aquest sentit, el decret té més el valor d'una llista de recomanacions, forçades pel caràcter regulador de la directiva, que no pas el d'un conjunt ordenat d'accions orientades a obtenir un resultat numèric concret. Malgrat aquestes consideracions crítiques, es tracta de la primera normativa pensada de manera específica per millorar la sostenibilitat de les edificacions.

En l'àmbit estatal, no existeix una norma específica equivalent al DEE, sinó que dins de la normativa general de la construcció s'han establert mesures tendents a millorar l'eficiència de les edificacions. La més important d'aquestes normes és el Codi tècnic de l'edificació (CTE), elaborat a partir de la transposició dels diferents eurocodis elaborats per la UE.

El CTE ha modificat completament l'estructura normativa de la construcció substituint un seguit de normes de caràcter parcial, les Normes Bàsiques de l'Edificació (NBE), per un únic codi de referència que estableix les condicions que han de complir els edificis d'acord amb la Llei d'ordenació de l'edificació (LOE). El CTE consta d'un document inicial, on es defineixen les disposicions generals i administratives i es fixen els

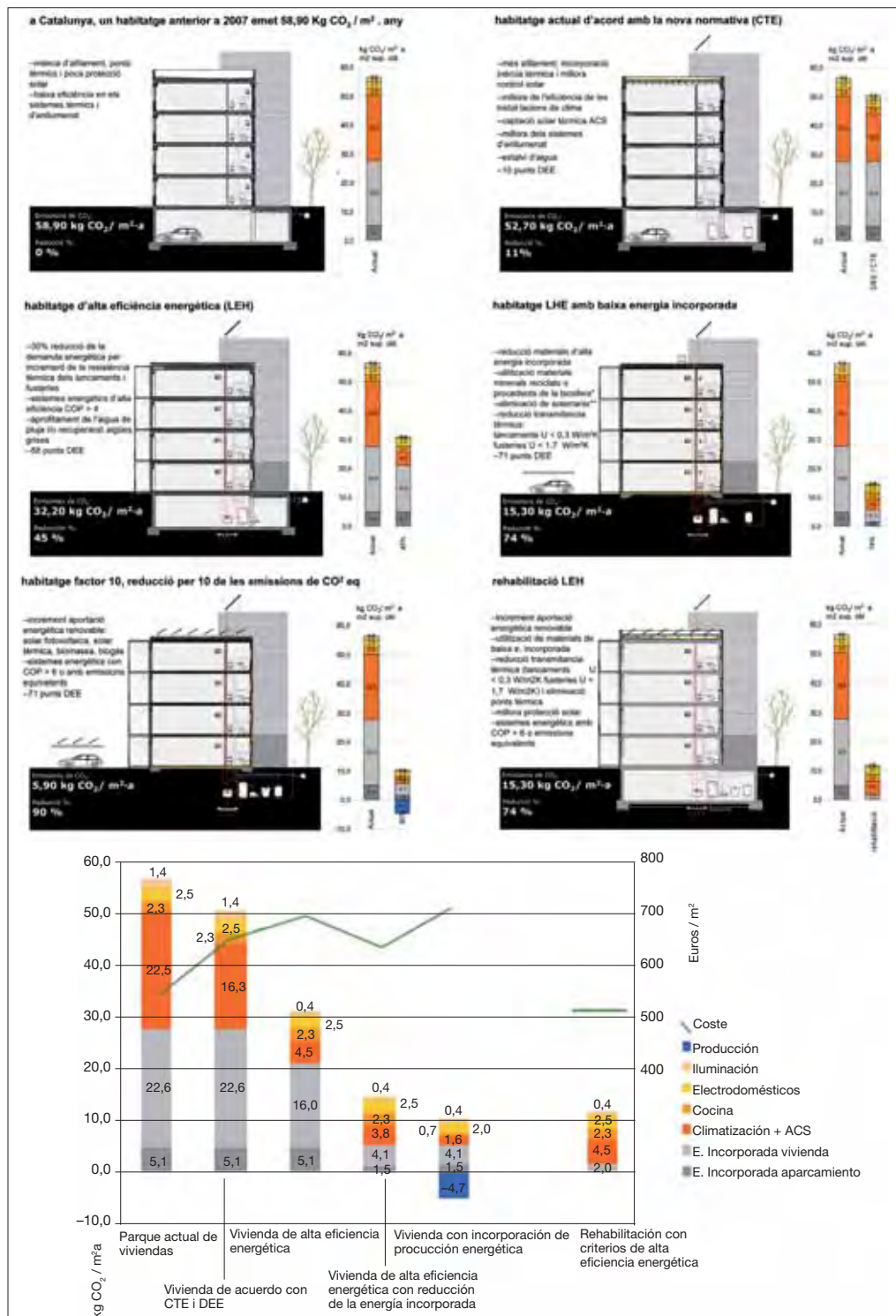


Figura 21. Extrapolació de models característics respecte de l'eficiència i la sostenibilitat a l'habitatge, segons canvis normatius i vies noves de millora.

Font: Sabaté, Joan: «Construcció i habitatge: objectius i accions» a Cap a un habitat(ge) sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

Ús de sistemes constructius	
Façana ventilada al sud-oest ($\pm 90^\circ$)	5 p
Construcció de coberta ventilada	5 p
Construcció de coberta enjardinada	5 p
Sistemes industrialitzats en l'estructura	6 p
Sistemes industrialitzats en façanes	5 p
Mesures per a la reducció de la demanda energètica	
En habitatges, si el 80% reben en l'obertura de la sala 1 hora de sol entre les 10 i les 12 hores solars en el solstici d'hivern	5 p
Reducció d'un 10% del Km de façanes	4 p
Reducció d'un 20% del Km de façanes	6 p
Reducció d'un 20% del Km de façanes	8 p
Mesures per a la reducció del consum d'aigua	
Sistema d'aprofitament aigües pluvials	5 p
Sistema d'aprofitament aigües grises i pluvials	8 p
Mesures per al foment del reciclatge	
Utilització d'un producte obtingut del reciclatge de residus	4 p
Reutilització residus petris generats (si hi ha demolició prèvia)	4 p
Mesures per a la millora de l'eficiència de les instal·lacions	
Disposar de ventilació creuada	6 p
Utilització d'energies renovables en la climatització de l'edifici	7 p
Enllumenat d'espais comunitaris amb detectors de presència	3 p
Mesures per a la millora de l'aïllament acústic	
En habitatges, que tinguin un aïllament mínim a so aeri R de 28 dBA	4 p
En habitatges, elements horitzontals de separació i cobertes transitables: nivell d'aïllament a l'impacte normalitzat Ln inferior a 74 dBA	5 p

Taula 2. Decret d'ecoeficiència en l'edificació (DEE). Quadre de puntuacions. El DEE incorpora un sistema de punts sobre un catàleg d'opcions constructives amb l'obligació d'aconseguir-ne un mínim de deu.

Font: Sabaté, Joan: «Construcció i habitatge: objectius i accions» a Cap a un habitat(ge) sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

requisits que han de complir les edificacions, i una sèrie de documents bàsics (DB) on es detallen els mecanismes per tal de garantir el compliment d'aquests requisits. Els apartats definits a la norma inclouen aspectes de seguretat, amb documents bàsics de seguretat estructural (SE), la seguretat contra incendis (SI) i seguretat d'utilització (SU), i d'habitabilitat, on s'inclou la higiene, salut i protecció del medi ambient (HS), protecció contra el soroll (HR) i l'estalvi d'energia (HE). Una de les característiques destacades d'aquesta normativa és que planteja, dins del seu àmbit competencial, no solament les condicions inicials de construcció, sinó també els aspectes d'utilització i el manteniment dels edificis i instal·lacions. Per contra, deixa fora de la norma els aspectes relatius a la funcionalitat i a l'ús, que

hauran de ser definits en normatives de caràcter sectorial.

La incorporació de les noves regulacions ha permès millorar, en qualsevol cas, un cert *modus operandi*, dirigint-lo cap a una nova sensibilitat més sostenible, encara que aquesta sembla haver-se limitat, freqüentment, a la superposició de nous instruments o dispositius tecnològics sobre una arquitectura de base tradicional (components solars, instal·lacions de baix consum, elements protectors i filtres, etc.) i requereix anàlisis més globals sobre les diverses aplicacions, concrecions i posades en practica (associades encara, majoritàriament, a dinàmiques relativament recents i mancades d'estudis detallats orientats a avaluar-ne l'emergència i possible evolució).

La major part d'estudis associats a una construcció sostenible vinculada a l'habitatge defensen la necessitat d'ampliar els paràmetres del DDE i, sobretot, d'ampliar els llindars mínims de sostenibilitat exigibles a una puntuació entre 50 i 70 punts (enlloc dels 10 actuals). De la mateixa manera, les mateixes mesures contingudes en el DDE haurien de ser degudament revisades, completades i actualitzades. Als vectors anteriorment exposats —centrats en els cicles bàsics de l'energia, l'aigua, la matèria i els residus o en paràmetres de salut i habitabilitat—, caldria incorporar-n'hi d'altres referits a criteris de salut i confort, d'interacció paisatgística —factor verd— i de disseny intel·ligent —sistemes constructius innovadors— que, d'una manera massa dispersa, apareixen citats en el Decret d'ecoeficiència a la edificació. Paràmetres més intangibles i no adequadament considerats en la reglamentació actual, com ara els de la relació amb l'entorn i el paisatge (interacció amb el medi), la gestió econòmica, l'adequada interacció amb l'usuari (interacció social), la correcta mobilitat i/o accessibilitat, la diversitat tipològica i/o la innovació tecnològica i conceptual, constituïrien factors importants vinculats a una filosofia proactiva i global de la sostenibilitat.

Des del punt de vista de l'anàlisi del procés, es fa necessari promoure una millora dels instruments estadístics i d'informació per tal de facilitar l'estudi evolutiu del que ha estat la implementació recent d'aquestes mesures i de juxtaposar-les i agregar-les en el temps (seccions tipus, solucions recurrents en la incorporació d'instal·lacions i tecnologies, models de coberta i façana més reiterats, etc.), així com el seguiment del compliment i de la optimització en relació a les inèrcies i hàbits del mercat i de la indústria.

La insistència en la importància d'una construcció responsable integrada en una planificació, una urbanització i un disseny arquitectònic autènticament sostenibles —capaços de combinar paràmetres d'eficiència en l'estalvi i la captació, amb noves concepcions espacials i constructives adequades als nous reptes socioculturals— resulta fonamental tant pel que fa a l'aplicació de nous materials (ecoproductes, reproduïbles, etc.), com de nous productes industrials i de sistemes d'innovació tecnològica (construcció en sec, industrialit-

zada o semiindustrialitzada, etc.) i pot generar solucions susceptibles d'operar només amb el 50% de l'energia d'un edifici convencional, amb sobre costos a l'alça d'un 7%, amortitzables en un període de 10 anys. Des d'aquestes consideracions, seria recomanable, anàlogament a l'escala urbana i territorial, impulsar un nou tipus d'operacions pilot, de concepció més flexible i oberta, susceptibles de constituir nous projectes referencials d'una política innovadora, encara per desenvolupar plenament en un camp —el de l'habitatge— massa subjecte a paràmetres d'hàbits processals.

24.2.3. Algunes pautes estratègiques i constructives⁶⁰

Ja hem assenyalat que la majoria d'estudis actuals tendeixen a considerar que els edificis consumeixen més d'un 30% de tots els recursos del planeta (aigua, sol, materials, energia), i a Catalunya i a l'Estat espanyol, una anàlisi preliminar indica que el sector de la construcció (immobles i enginyeria civil) representa més del 25% de la petjada ecològica del país, i pràcticament la totalitat de la superfície artificialitzada (no fèrtil).

A Catalunya, el Decret 21/2006 d'Ecoeficiència en l'Edificació (DEE), atribueix, en efecte, a l'edificació, el 40% de les emissions de CO₂, sense especificar amb precisió els conceptes inclosos en aquest percentatge. Amb una visió més general, no resultaria exagerat afirmar que les opcions d'eficiència dels models urbans i d'edificació poden afectar més del 50% de les emissions actuals de CO₂.⁶¹

De fet, els actuals models de desenvolupament, basats en gran part en la construcció física dels nostres entorns, s'han anat fonamentant en l'explotació dels recursos naturals, bàsicament de la litosfera, i en transformar-la per tal d'obtenir productes destinats a la comercialització o béns immobles. Aquesta enorme maquinària de consum material ha tingut efectes transcedents i impactes importants en l'energia i les

60. Apartat a càrrec de Manuel Gausa.

61. Vegeu Sabaté, Joan, «Construcció i habitatge: objectius i accions»; Cubiña, Ignasi-ElG, «Habitatge i habitat – beneficis socials, econòmics i ecològics», i Sauer, Bruno, «Cap a una aproximació més subtil al nostre habitat», a *Cap a un Habitat(ge) Sostenible*. Barcelona: CADS, 2010.

emissions de CO₂ associades. Acostar els actuals sistemes de producció cap a un horitzó de sostenibilitat i reducció d'emissions implica dissenyar nous models destinats a reinvertir els processos, tancant al màxim l'actual disfunció lineal dels cicles de la matèria, l'energia i l'aigua, segons processos similars als produïts en la biosfera.

Establir nous criteris per tal de reformular o substituir els models de cicle obert (sense reutilització final) per models de cicle tancat amb retorns (basats en la reutilització, el reciclatge i la retroalimentació) tant pel que fa a la construcció i l'edificació com a la ciutat en general, ha constituït el principal argument de bona part de les aportacions recents.

El nou referent en la cadena sostenible —denominat *Cradle to Cradle* ('del bressol al bressol')— té en compte fonamentalment l'assimilació dels fluxos de materials del planeta i dels cicles complementaris (el cicle biològic i el cicle tècnic), i planteja relacions metabòliques més racionals amb l'entorn, impulsant al màxim l'autosuficiència i l'ús de recursos locals.⁶²

L'aspecte clau és, doncs, dissenyar entorns construïts (edificis, barris, etc.) susceptibles d'optimitzar-ne al màxim el comportament passiu, mitjançant geometries, orientacions, materials, solucions i mesures d'alta eficiència mediambiental i energètica, que permetin una reducció dels consums (del 50% al 70%), de tal manera que els sistemes actius, amb la incorporació de les noves tecnologies, assoleixin un balanç energètic net positiu i no solament un balanç menys negatiu. Al mateix temps, caldria completar aquesta dinàmica amb una gestió racional dels recursos materials i ambientals.

El concepte d'una construcció sostenible remet, en qualsevol cas, a paradigmes fonamentals en els camps de la construcció i de l'arquitectura de l'habitatge:

- Als d'una arquitectura eficientment bioclimàtica com a base imprescindible d'una actuació, sensible a aquells processos associats als sistemes passius i a l'aprofitament màxim i positiu de tres dels quatre elements naturals: aigua (cicle de l'aigua), aire (confort acústic, visual i

olfactiu) i foc (cicle de l'energia lluminosa i calorífica).

- Als d'una possible bioconstrucció, destinada a treballar amb el quart element (la terra) prioritzant l'ús de materials naturals biodegradables o reciclables i la minimització de residus i contaminació.
- Als de la innovació tecnològica i, especialment, als d'una industrialització susceptible de recolzar tres aspectes bàsics de la sostenibilitat (el social, augmentant la seguretat del treball, l'ambiental, reduint el consum de materials i residus, i l'econòmic, reduint temps d'execució i, per tant, costos). I als d'una recerca aplicada, susceptible de generar noves tècniques i materials adequats als actuals paràmetres d'ecoeficiència.
- Als de la rehabilitació com a criteri de futur, d'importants conseqüències constructives, urbanístiques i territorials.⁶³

La insistència en la importància d'aquests aspectes i l'abordatge específic de cada un dels potencials que tenen ha estat la base de reiterades recerques, per bé que amb èxits encara inicials i limitats probablement pel grau d'especialització aparentment requerit i la mateixa inèrcia dels mercats.

Pel que fa als criteris de disseny constructius, resulta important significar com, a l'hora de combinar materials, productes i sistemes, cal considerar-ne les repercussions en la configuració arquitectònica i, notablement, en la composició integrada de cobertes (cobertes verdes, cobertes solars, cobertes de dipòsit d'aigua, cobertes captadores i/o ventilades, etc.) i de la mateixa «pell» de l'edifici, autèntic element mediador entre construcció i medi, susceptible d'integrar sistemes de façana compostos i/o ventilats, elements de protecció solar i visual, elements de captació solar, etc., constituint-la, al mateix temps, en regulador tèrmic i acústic, espai filtre de transició interior/exterior i expressió conceptual de la pròpia opció cultural i/o arquitectònica.

62. Ídem nota 61.

63. Vegeu Solanas, Toni, «Habitat(ge) i sostenibilitat a Catalunya» a *Cap a un Habitatge Sostenible*. Barcelona: CADS, 2010.

També caldria considerar (en termes de disseny global) altres consideracions espacials i funcionals relacionades amb la sostenibilitat: aspectes com ara els de la diversitat i mixicitat tipològiques, els de la flexibilitat i polivalència distributiva —associades a la reconversió i reutilització dels espais— o els de la versatilitat estructural i la capacitat de propiciar seccions més variables i complexes, susceptibles d'afavorir l'aparició de nous escenaris de desenvolupament mixt en què combinar tipus, programes i usos. En aquest sentit, el tema de la secció com a «tall clínic» de l'edifici i les recents reformulacions aportades —per tal d'afavorir noves solucions integrals—, queda aquí insinuat com a part de posteriors anàlisis que caldria considerar.

A Catalunya no es comproven, actualment, dèficits greus en la resposta sostenible, però tampoc avenços significatius superiors als de la resta de comunitats espanyoles o de la conca mediterrània; l'assimilació progressiva d'una certa ètica responsable —assumida política-ment i tecnològica— manca encara de mesures de clara incidència cultural i de voluntat propositiva (cal destacar, en aquest sentit, l'absència d'autèntiques experiències pilot o de grans projectes d'excel·lència, ambiciosos i referencials). Cal significar, per últim, com els paràmetres mediambientals implementats en altres escenaris europeus més exigents són perfectament assolibles al nostre país. La pràctica professional i els estudis realitzats evidencien que des de la mateixa arquitectura i des de la millora constructiva de l'edificació es poden assolir uns estalvis energètics del 60%, amb uns sobre costos moderats que poden oscil·lar entre el 3% i el 10%, en funció dels paràmetres sostenibles aplicats.⁶⁴

24.3. Tercera part. Escala domèstica: edifici-llar, habitatge i habitants. Usos i usuaris, pautes de comportament

24.3.1. El paper dels consums a la llar en el context del canvi climàtic. Anàlisi de tendències⁶⁵

El consum domèstic té una incidència important sobre el medi ambient. Per un costat, consumeix recursos naturals (aigua, energia, matèries primeres) i genera diversos impactes ambientals (residus, aigües residuals, emissions atmosfèriques).

En tant que aquest consum està directament associat als nostres *modus vivendi*, aquests es presenten com un factor important a l'hora de disminuir la factura ambiental de la nostra societat. A la temàtica que ens ocupa, els valors de la sostenibilitat reclamen canvis d'hàbits. Les campanyes comunicatives dels darrers anys i la difusió dels valors relacionats amb el medi ambient apunten, de manera cada cop més habitual, a la moderació del consum a les llars i a canvis d'hàbits a la vida quotidiana. Els missatges en aquest sentit arriben a la ciutadania a través de múltiples canals: els mitjans de comunicació, l'administració, les organitzacions no governamentals i, fins i tot, de les empreses subministradores d'aigua, gas i electricitat, que inclouen a les factures consells per estalviar i optimitzar l'ús dels recursos.

Als darrers quinze anys, el medi ambient ha anat adquirint una importància cada cop més gran a la realitat local. El present treball se centra en els vectors de l'aigua, l'energia (i les emissions de CO₂ associades) i la generació de residus a l'àmbit domèstic.

L'àmbit municipal ha estat, habitualment, el principal espai de trobada entre la ciutadania i la gestió ambiental, ja sigui a través de campanyes d'estalvi d'aigua dirigides a la població, d'accions per a la millora de l'eficiència energètica o de la promoció de xarxes d'establiments respectuosos amb el medi ambient.

64. Vegeu Sabaté, Joan, «Construcció i habitatge: objectius i accions»; Frutos, Fidela; San Martín, Josep: «Cap a una arquitectura més sostenible»; Pérez Arnal, Ignasi: «Per què (i com) construir de forma sostenible?»; Pich Aguilera, Felip, «Una realitat industrial com a base per a la arquitectura contemporània»; i Solanas, Toni, «Habitat(ge) i sostenibilitat a Catalunya», a *Cap a un Habitat(ge) Sostenible*. Barcelona: CADS, 2010.

65. Apartat a càrrec de Marta Pérez y Santi Gorostiza. Per a més informació vegeu Pérez, Marta; Pérez-Gorostiza, Santi: «Habitants i habitatges: usos i comportaments sostenibles», a *Cap a un Habitat(ge) Sostenible*. Barcelona: CADS, 2010.

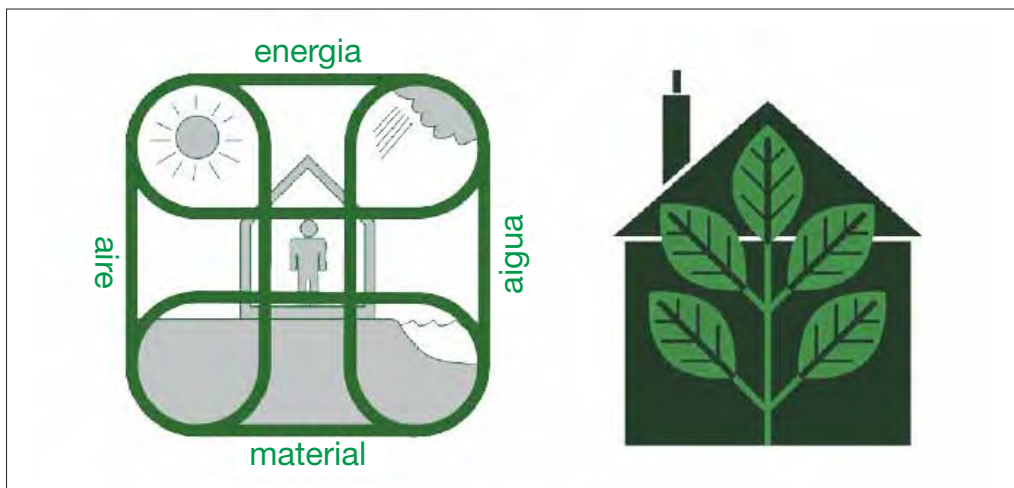


Figura 22. Habitatge i sostenibilitat. Diagrames.

No obstant això, el que es cerca aquí és calibrar la importància del sector domèstic en el consum d'aigua i d'energia i en la generació de residus a Catalunya, amb l'objectiu de visualitzar el pes real del sector domèstic en els vectors ambientals tractats, i per tant, la importància real de les millores ambientals a les llars, que recauen sobre els habitatges i els seus habitants.

24.3.1.1. El consum d'energia a la llar

– Consum d'energia primària

La situació energètica a Catalunya s'ha caracteritzat els darrers anys per l'augment del consum d'energia primària i l'elevada dependència dels combustibles fòssils.

Entre 1990 i 2005, el consum d'energia primària va passar de 16.702 ktep⁶⁶ a 26.698 ktep, amb un augment del 60% i un creixement interanual⁶⁷ del 3% (en comparació, el PIB de Catalunya només va créixer un 2,6% de mitjana per any. Això provoca un augment de la intensitat energètica⁶⁸, de manera que per produir una uni-

tat de PIB s'ha d'emprar més energia). La forta dependència dels combustibles es fa palesa en observar que el consum d'energia primària a Catalunya prové principalment del petroli (48%) i del gas natural (23,2%), i la major part d'ambdós s'ha d'importar. A més, el consum de petroli ha augmentat al 3% interanual en els darrers 15 anys, i el de gas natural s'ha multiplicat per 5 en aquest mateix període de temps.

L'energia nuclear és la tercera font d'energia primària (22,4%), i la principal font de generació d'electricitat (el 2005 va aportar-ne el 56%). Finalment, pel que fa a les energies renovables, la meitat de les quals prové de l'energia hidràulica, el 18%, de la incineració de residus, el 15%, de la biomassa llenyosa, el 6%, del biogàs, el 6%, dels biocarburants i el 3,2%, de l'energia eòlica,⁶⁹ cal dir que només representen un 2,4% del total de l'energia primària consumida.

Si s'analitzen les dades de consum d'energia primària per sectors amb les dades disponibles de l'any 2005, s'observa, lògicament, que el sector energètic es el major consumidor d'energia primària —que transforma l'energia primària en energia final disponible per al consum. El segueixen el transport i la indústria, amb el 26% i el 22%, respectivament. El sector domèstic té un

66. 1 Ktep = 1.000 tones equivalents de petroli (energia equivalent a l'alliberada per una tona de petroli).

67. Segons *Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana. Resum Executiu*. Barcelona: CADS, 2008.

68. La intensitat energètica d'un país o territori es defineix com la relació entre el consum d'energia del país i el seu producte nacional brut (PIB) expressat en termes reals. La intensitat energètica vol expressar el consum d'energia necessari (ja sigui final o primària) per produir una unitat de PIB.

69. Segons *Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana. Resum Executiu*. Barcelona: CADS, 2008.

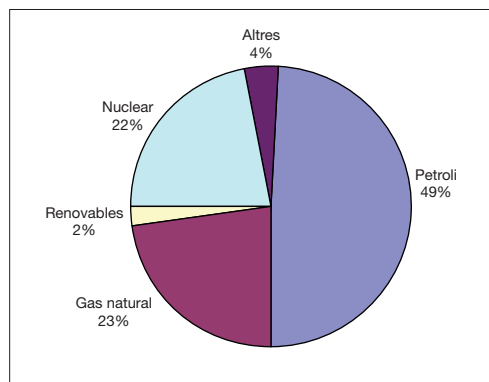


Figura 23. Consum d'energia primària per fonts a Catalunya. Font: Balanç Energètic de Catalunya 2006. Barcelona: ICAEN, 2007.

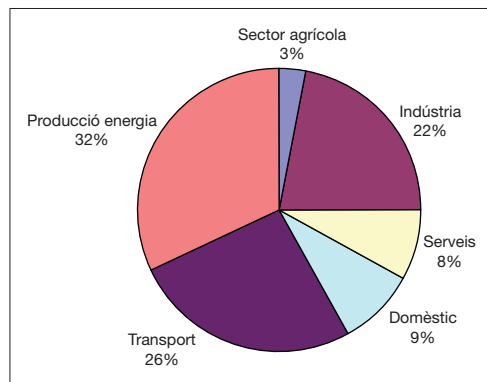


Figura 24. Consum d'energia primària per sectors a Catalunya. Font: Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana. Resum Executiu. Barcelona: CADS, 2008.

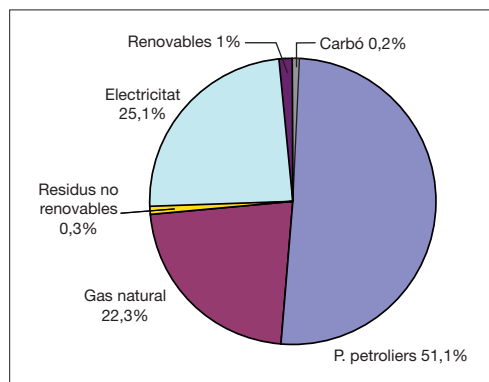


Figura 25. Consum d'energia final per fonts a Catalunya. Informe «Balanç Energètic de Catalunya 2006». ICAEN, 2007.

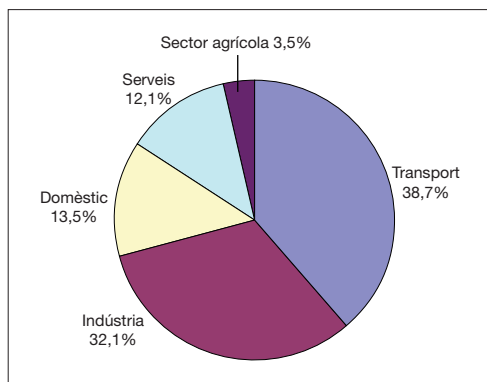


Figura 26. Consum d'energia final per sectors a Catalunya. Informe «Balanç Energètic de Catalunya 2006». ICAEN, 2007.

valor molt proper al de serveis, 9% i 8%, respectivament. Per últim, el sector agrícola és el que consumeix menys energia primària, el 3% del total.

– Consum d'energia final

Pel que fa al consum d'energia final, creix també més ràpidament que el PIB en termes reals. La major part del consum d'energia final prové dels productes derivats del petroli (51,2%). L'electricitat és la segona font d'energia final més consumida (25,1%) i el gas natural, amb el 22,3%, la tercera (ha augmentat un 150% en els darrers 15 anys). Les energies renovables continuen tenint un pes molt baix (1%) en el consum d'energia final.

Si analitzem com els diferents sectors es divideixen el consum d'energia final, podem obser-

var que el transport i la indústria són els grans consumidors d'energia final. Considerats conjuntament, sumen més del 70% del consum total a Catalunya. De nou, el sector serveis i el domèstic tenen percentatges molt semblants, del 12,1% i el 13,5%, respectivament.

Tanmateix, si prenem com a exemple la ciutat de Barcelona, els percentatges canvien. Augmenta considerablement la importància de l'habitatge i el del sector serveis. Disminueix el dels transports en no considerar els desplaçaments a major escala, i pràcticament s'esvaeix el del sector agroromader.

– El consum domèstic d'energia

El consum domèstic ha crescut a Catalunya a un ritme del 4,4% interanual. Aquest creixement es deu principalment a dos factors: l'in-

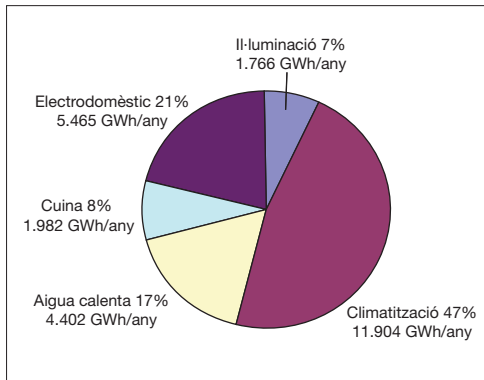


Figura 27. Consum d'energia a les llars catalanes, a Sapiguem quanta energia gastem. ICAEN (2005).

Font: Pérez, Marta; Pérez-Gorostiza, Santi: «Habitants i habitatges: usos i comportaments sostenibles», a Cap a un Habitat(ge) Sostenible. Barcelona: CADS, 2010

crement de la població i l'augment del nivell de vida material dels ciutadans.⁷⁰ A Barcelona, l'increment del consum domèstic del 2003 al 2004 va ser d'un 9%, i entre el 1999 i el 2004, del 22%. Aquests increments mitjans, entre el 4% i el 5% a Catalunya i Espanya, estan molt per sobre de l'1,6% de mitjana de la Unió Europea.⁷¹

El consum d'energia primària a les llars catalanes està dominat pel gas natural (46,4%) i per l'energia nuclear (35,7%). Pel que fa al consum d'energia final, el gas natural i l'electricitat són les fonts d'energia predominants a les nostres llars, amb el 44,3% i 37,8%, respectivament. Això significa que encara que no gastem directament ni carbó ni *fuel-oil*, ni energia nuclear, el sector elèctric els ha de consumir per proveir-nos d'electricitat. En realitat, per proveir d'energia les llars catalanes calen 1,68 vegades més d'energia que la que realment gastem, ja que se'n perd en el procés de transformar-la, transportar-la i distribuir-la (el pas entre energia primària i energia final). El consum d'energia a les llars catalanes ascendeix a 25.519 GWh / any i la climatització representa el

47% d'aquest consum. A continuació hi ha els electrodomèstics, amb un 21% del consum, i l'aigua calenta amb un 18%. La cuina i la il·luminació representen el 8% i 7% respectivament, del consum d'energia a les llars.⁷²

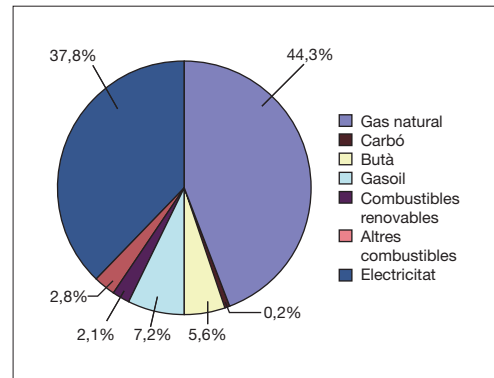


Figura 28. Consum de les diferents formes d'energia a les llars catalanes.

Font: Sapiguem quanta energia gastem. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Treball i Indústria, 2005.

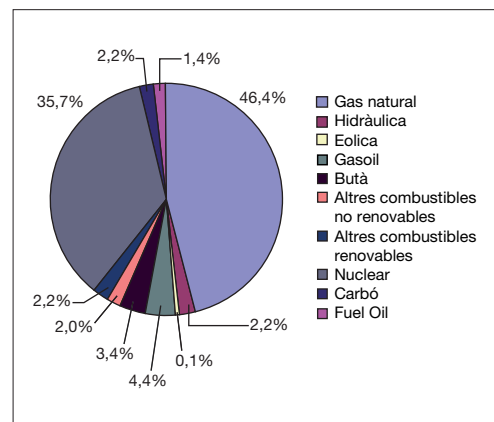


Figura 29. Consum de les diferents energies primàries per les llars catalanes. Informe Sapiguem quanta energia gastem. ICAEN (2005).

Font: Pérez, Marta; Pérez-Gorostiza, Santi, «Habitants i habitatges: usos i comportaments sostenibles», a Cap a un habitat(ge) sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

70. Martín Ramos, Jesús (coord.). Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana. Resum Executiu. Barcelona, CADS, 2008.

71. Segons El comptador. Informació energètica de Barcelona núm. 2. Barcelona: Agència d'Energia de Barcelona, 2006.

72. Informe Sapiguem quanta energia gastem. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Treball i Indústria, ICAEN, 2005.

– *Contribució del consum energètic domèstic a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.*

La problemàtica de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle va intrínsecament relacionada a les fonts d'energia que s'empren per obtenir l'energia final. Als apartats anteriors s'ha vist que el consum d'energia final del sector domèstic és el 13% del total. Aquest consum d'energia contribueix en un 7% a les emissions de CO₂ a Catalunya. Concretament, el sector domèstic a Catalunya va emetre 2.951 kt (milers de tones) de CO₂ l'any 2003, d'un total de 42.157 kt.⁷³ Les emissions de CO₂ que es generen a les llars estan directament relacionades amb el consum energètic i amb el tipus de font d'energia emprada. Si fem la mitjana ponderada per nombre d'habitatges per a cada tipologia i zona climàtica, la mitjana d'emissions de CO₂ per habitatge tipus que obtenim a Catalunya és de 1.290 kg CO₂ / any.⁷⁴ La climatització (39%), l'aigua calenta (30%) per a usos sanitaris i els equipaments de la llar (27%) són els usos energètics que més contribueixen a les emissions de CO₂.

Si només tenim en compte la ciutat de Barcelona, la contribució de les llars és multiplica, i també la del sector comercial i de serveis. En no

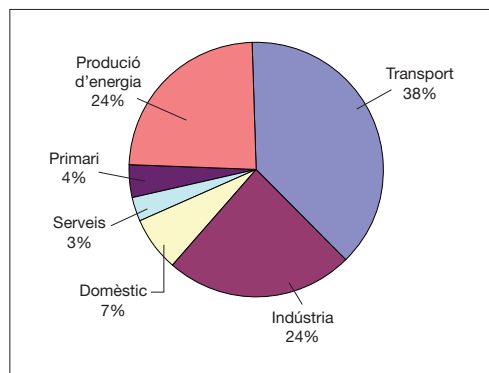


Figura 30. Emissions de CO₂ a Catalunya per sectors (2003). La contribució de l'habitatge de Catalunya a la reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (2006). Font: Institut Cerdà. Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

73. Vegeu *La contribució de l'habitatge de Catalunya a la reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle*. Barcelona: Institut Cerdà i Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, 2006.

74. Ídem.

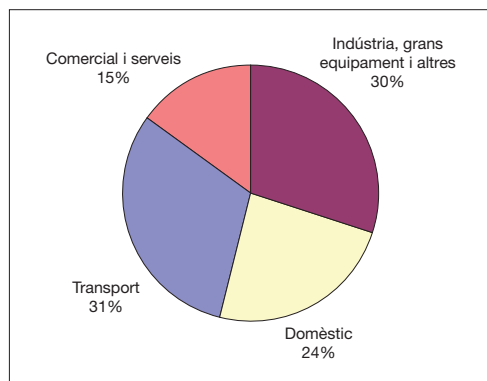


Figura 31. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Barcelona per sectors (2004).

Font: El comptador. Informació energètica de Barcelona, 2. Barcelona: Agència d'Energia de Barcelona, 2006.

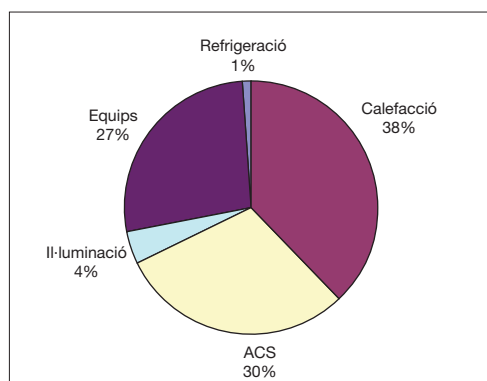


Figura 32. Distribució de les emissions de CO₂ als habitatges de Catalunya per usos energètics

considerar els llargs desplaçaments, disminueix la importància del sector transports, i en tant que no hi ha grans instal·lacions productores d'energia, també ho fan les d'aquest sector.

	Kg CO ₂ / any	Percentatge
Refrigeració	7	0,54%
Calefacció	493	38,22%
Aigua calenta sanitària (ACS)	390	30,23%
Il·luminació	55	4,26%
Equips	345	26,74%
Emissions totals per habitatge	1.290	100%

Taula 3. Emissions de CO₂ d'un habitatge tipus a Catalunya.

24.3.1.2. El consum d'aigua a la llar

– *Distribució dels consums globals segons el seu ús*

Les dades disponibles de l'any 2005 ens indiquen que el 72,6% del consum total d'aigua a Catalunya era per a ús agrícola (70,6% per a reg i 2% per a la ramaderia), el 18,4% era per a ús domèstic (que inclou l'ús a la llar, el públic, el comercial i el turístic) i el 9,1%, per a usos industrials. L'origen de l'aigua que es consumeix a Catalunya és en un 70% d'aigües superficials (rius i embassaments) i en prop d'un 30% d'origen subterrani (aquífers).

Ara bé, quan analitzem com es distribueixen els tipus d'usos, es constata que el consum agrícola es concentra principalment a les conques intercomunitàries, mentre que l'urbà (domèstic i industrial) ho fa a les conques internes.

Les dades mostren que a les conques intercomunitàries el 95,5% del consum és agro-ramader, mentre que a les conques internes aquest valor es redueix al 35,08%. Pel que fa al consum domèstic, l'elevada població que es concentra a l'àrea metropolitana de Barcelona i a la costa eleva el percentatge fins a un 43,7%

Tipus de demanda	Conques internes (hm³/any)	%	Conques intercomunitàries (hm³/any)	(%)	Total de Catalunya (hm³/any)	%
Domèstica	518,8	43,73%	54,2	2,80%	573,0	18,35%
Industrial	251,5	21,20%	31,9	1,65%	283,4	9,07%
Total urbana	1.186,5	64,92%	86,1	4,45%	856,4	27,42%
Reg	386,5	32,57%	1.815,5	93,75%	2.202	70,51%
Ramaderia	29,7	2,50%	34,9	1,80%	64,6	2,07%
Total agrícola	416,2	35,08%	1.850,4	95,55%	2.266,6	72,58%
Total	1.186,5	38,0%	1.936,5	62,0%	3.123	100%

Taula 4. Demanda d'aigua per sectors i conques.

Font: Dades de medi ambient 2005. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient.

A l'hora d'analitzar el consum d'aigua a Catalunya, cal distingir entre les conques internes i les conques intercomunitàries, atès que el diferent tipus d'activitats econòmiques que s'hi realitzen i la població que les habita condiciona el consum sectorial que s'hi produeix. Si introduïm la diferenciació entre conques internes i intercomunitàries, observem en primer lloc que, en clau de consum total, les segones realitzen una major despesa que les primeres, malgrat que s'hi concentra menys població.

del total,⁷⁵ que contrasta amb el 2,8% de consum domèstic a les conques intercomunitàries. El mateix contrast es produeix amb els consums industrials.

75. Que, en dades de 1999, augmenta fins al 67% si només prenem en consideració l'Àrea Metropolitana de Barcelona. Domènech, E.; Saurí, D.; Martí, X.; Molina, J.; Hueslin, S. «Tipologías de vivienda y consumo de agua en la Región Metropolitana de Barcelona». Comunicació presentada al IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Tortosa, 9-12 de desembre de 2004.

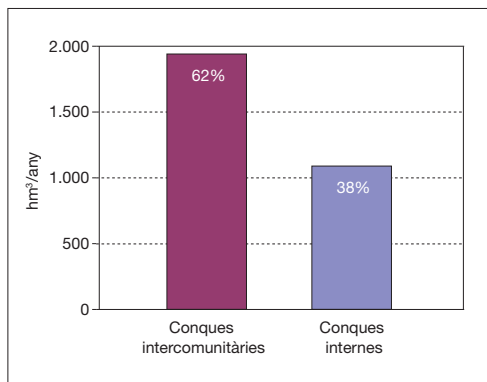


Figura 33. Demanda d'aigua per conques.

Font: Dades de medi ambient 2005. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient.

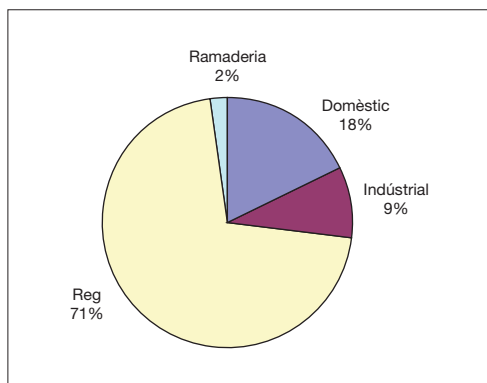


Figura 34. Total de consums d'aigua per sectors a les conques intercomunitàries. Elaboració pròpia a partir de dades del Dades de medi ambient 2005. Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.

Font: Pérez, Marta, Pérez-Gorostiza, Santi, «Habitants i habitatges: usos i comportaments sostenibles», a Cap a un habitatge sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

– El consum domèstic d'aigua

Una de les conclusions que s'extreuen de l'anterior anàlisi és que el tipus de consum d'aigua està molt relacionat amb l'activitat econòmica i el grau d'urbanització del territori. En zones principalment agrícoles, poc poblades i amb elevada activitat agroromadera, la major part del consum d'aigua es dedica a aquesta activitat. En canvi, quan ens trobem en zones altament poblades i amb poca activitat agrícola, el consum domèstic guanya pes sobre els altres consums.

Un dels indicadors que ens permeten comparar la sostenibilitat domèstica en el consum

d'aigua és la ràtio de consum d'aigua per habitant i dia.

La mitjana de consum domèstic de l'àrea metropolitana de Barcelona se situava entorn als 121 litres per persona i dia, i cal destacar els valors baixos de l'Hospitalet de Llobregat (105) o Badia del Vallès (96). Les dades dels darrers anys posen de manifest que les àrees més denses, pròpies d'un model de ciutat compacta, tenen consums domèstics inferiors als de regions de construcció d'urbanisme més dispers (com Sant Cugat, amb 187, Tiana, amb 170, o Matadepera amb 453), en què la despesa d'aigua als jardins i piscines genera consums majors. La mitjana catalana se situa a 175 litres per persona i dia.⁷⁶ La xifra que estimen les Nacions Unides per portar una existència digna és de 60 litres diaris.⁷⁷

– Distribució de la despesa domèstica d'aigua

En l'apartat anterior, s'ha vist com el total de llars de Catalunya, juntament amb el consum municipal, comercial i turístic, són responsables del 18,35% del consum total d'aigua. Aquest percentatge varia en el cas de les conques internes fins al 43,7%, i baixa a les intercomunitàries fins a un 2,8%. Ara bé, com es distribueix internament a cada habitatge, la despesa d'aigua? El gràfic 16 mostra les dades per a un habitatge plurifamiliar (sense jardí ni piscina)

Les activitats més importants en relació a la despesa d'aigua són el vàter, la dutxa i la rentadora. Conjuntament, representen un 70% de la despesa de la llar. La resta de consum està relacionada amb la neteja, la higiene i altres usos.

En casos d'habitatges plurifamiliars amb jardins comunitaris, aquest percentatge és molt similar, atès que el consum del jardí és només del 6% del total.⁷⁸ Però per llars unifamiliars amb jardí i piscina propis, que afavoreixen una despesa més alta d'aigua, el consum del jardí s'ha

76. Segons l'Anuari Estadístic de Catalunya (2007) dades de consum relatives a l'any 2005.

77. 25 per sanejament, 15 per higiene, 10 per cuinar, 5 per beure i 5 per a altres usos (litres/persona per dia).

78. Domènech, E.; Sauri, D.; Martí, X.; Molina, J.; Hueslin, S. «Tipologías de vivienda y consumo de agua en la Región Metropolitana de Barcelona». Comunicació presentada al IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Tortosa, 9-12 de desembre de 2004.

valorat en fins a un 36% del total (en casos d'habitatges amb jardins majors de 200 m² i gespa).⁷⁹ En general, el consum domèstic d'aigua va associat sobretot a la densitat del medi construït, la tipologia edificatòria i, en menor mesura, amb els nivells de renda.⁸⁰

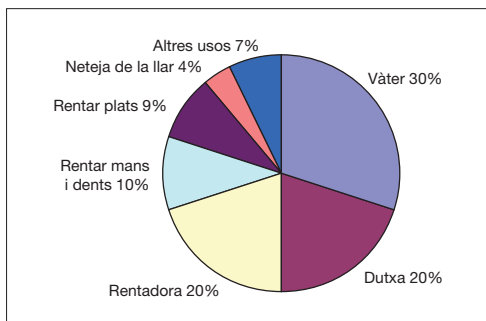


Figura 35. Distribució de la despesa d'aigua per a activitats a la llar. Ecologistes en Acció (a partir d'Ecoinstitut, Ecodes i WWF Adena)

Font: Pérez, Marta, Pérez-Gorostiza, Santi. «Habitants i habitatges: usos i comportaments sostenibles», a Cap a un habitat(ge) sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

24.3.1.3. La generació de residus a la llar

– Situació actual

En el camp dels residus, tant pel que fa a recollida com a la gestió hi ha una clara diferenciació entre els residus municipals, industrials i constructius. Durant els darrers anys, la quantitat generada en totes les categories ha augmentat progressivament, si bé en diferents proporcions. En primer lloc, tenim els que presenten un augment proporcional, en uns anys de forta activitat immobiliària, han estat els residus de la construcció, que entre el 2001 i el 2005 van augmentar el 30%. En segon lloc, trobem els residus municipals (que inclouen els residus comercials) que van augmentar el 17%. I, finalment, els residus industrials que per al mateix període de temps van augmentar l'11%.

Els residus de la construcció representaven el 2005 el 45% del total del residus generats a Catalunya. Els residus provinents de la activitat

industrial representaven el 33% i els municipals —que inclouen els residus comercials— el 22%.

La quantitat de residus municipals generats l'any 2006 va ser de gairebé 4,3 Mt. Des del 1998, la generació ha augmentat en prop d'un 20%, superant amb escreix les previsions realitzades. Aquest augment és degut no solament al creixement poblacional de Catalunya i a l'increment de residus per càpita, que entre 1999 i 2006 ha passat de 1,43 kg/hab/dia a 1,64, és a dir, ha augmentat un 11%.

L'any 2006, el 32% dels residus municipals van ser recollits de manera selectiva, i la fracció que resta va ser un 68%. Part dels residus recollits de manera selectiva es valoren i tornen a entrar al cicle; de la resta, només una petita fracció (el 3,25% al 2006) es valora als ecoparcs. La major part es disposa a abocadors (50%) o s'incinera (15%).

Dins la recollida selectiva, destaquen els percentatges de paper i vidre, productes dels quals es pot fer una bona valorització posterior. També destaca la fracció orgànica, que va en augment a causa de la creixent implantació de la recollida segregada d'aquesta fracció, que des del juliol del 2008 és obligatòria per a tots els municipis. La recollida dels envasos lleugers encara representa un percentatge menor en el conjunt dels residus recollits selectivament, però és un dels residus dels quals més ha augmentat la recollida selectiva entre 2005 i 2006.

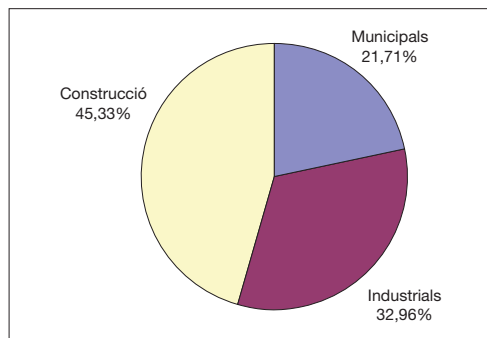


Figura 36. Importància dels diferents sectors en la generació de residus en pes (2005).

Font: elaboració pròpia a partir de les dades dels informes de sostenibilitat ambiental del Programa de gestió de residus municipals de Catalunya, del Programa de gestió de residus industrials de Catalunya, i del Programa de gestió de residus de la construcció a Catalunya (2007-2012).

79. Ídem.

80. Domènech, E.; Saurí, D. «Modelos urbanos y consumo de agua. El riego de jardines privados en la Región Metropolitana de Barcelona». *Investigaciones Geográficas*, 32, Alacant: Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Geografía. 2003.

	Tones	Total (%)	Recollida selectiva (%)	Increment respecte del 2005 (%)
Paper i cartró	419.378,65	9,84	30,82	4,37
Fracció orgànica	256.051,36	6,01	18,82	18,89
Vidre	183.006,12	4,30	13,45	13,39
Altres a deixalleries	172.451,41	4,05	12,68	6,97
Voluminosos	161.376,98	3,79	11,86	13,20
Envasos lleugers	94.672,39	2,22	6,96	31,48
Poda	66.728,62	1,57	4,90	10,93
Tèxtil	5.868,61	0,14	0,43	19,06
Piles	517,58	0,01	0,04	0,35
Medicaments	490,25	0,01	0,04	11,51
TOTAL RSB	1.360.541,97	31,94	100,00	11,48

Taula 5. Tipologia de productes recollits dins la recollida selectiva l'any 2006 i increment respecte del 2005. Dades de residus municipals 2006. Agència de Residus, 2007.

Font. Pérez, Marta, Pérez-Gorostiza, Santi. «Habitants i habitatges: usos i comportaments sostenibles», a Cap a un habitatge sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

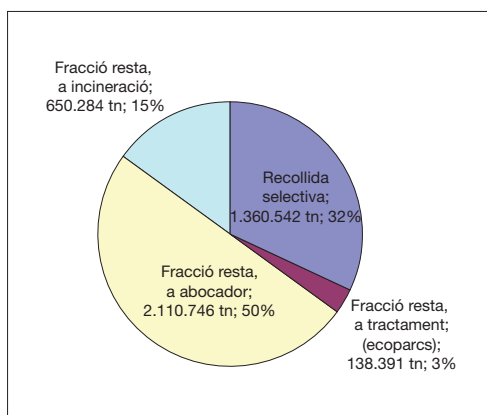


Figura 37. Recollida i destinació dels residus municipals.

Font: elaboració pròpia a partir de Dades de residus municipals 2006. Agència de Residus, 2007.

– Generació domèstica de residus

De mitjana, a Catalunya generem 1,6 kg d'escombraries per habitant i per dia, que anualment sumen 580 kg de brossa. Això representa anualment la generació de 4 milions de tones de residus a Catalunya. En menys de 40 anys, els catalans hem passat de generar 0,6 kg de brossa per habitant i dia a 1,6 kg, és a dir, un augment del 166%. En una setmana, el contingut tipus de les escombraries d'un persona es divideix en 4 kg de matèria orgànica, 2 kg de paper i cartró, 1,3 kg d'envasos lleugers, 0,8 kg de vidre i 3 kg d'altres.

El 80% del contingut d'aquestes escombraries pot ser reciclat (matèria orgànica, paper i cartró, vidre, plàstics i metalls), però només un 30% es recull selectivament.⁸¹

Durant els darrers anys, a banda d'augmentar la ràtio de generació de residus domèstics a Catalunya, també n'ha variat la composició mitjana. A l'estudi realitzat l'any 2005, més d'un terç del contingut de la bossa de la brossa és matèria orgànica (36%). A continuació hi ha la fracció altres (27%), que inclou voluminosos, roba, residus especials, runes, etc., i que pràcticament ha doblat la importància des de 1999. Els segueixen el paper i el cartró (18%), els envasos lleugers (12%) i el vidre (7%). A banda de la fracció altres, la resta de components han mantingut la proporció entre ells, si bé la d'envasos lleugers també ha augmentat clarament.

A Catalunya existeixen diferents tipus de recollida selectiva, però es poden sintetitzar en tres grans models de segregació de residus que es combinen amb diferents sistemes de recollida.

Els tres models de segregació de residus de Catalunya són els models de cinc fraccions, el de residu mínim i el multiproducte.

El model de cinc fraccions recull selectivament les cinc fraccions de residus domèstics.

81. Tu en el món teu. Ecologia quotidiana i sostenibilitat. Terrassa: Obra Social Caixa Terrasa, 2007.

	Fracció orgànica	Vidre	Paper/cartró	Envasos lleugers	Rebuig
Model 5 fraccions	☐	☐	☐	☐	☐
Model residu mínim	☐	☐	☐	☐	
Model multiproducte	☐	☐	☐		☐

Taula 6. Composició d'una bossa tipus a Catalunya el 2005.

Font: Programa de gestió de residus municipals a Catalunya. Agència de Residus de Catalunya, 2007.

El de residu mínim recull conjuntament els envasos lleugers amb el rebuig i el del multiproducte ho fa amb el paper i el cartró i els envasos lleugers. En tots els casos, també es disposa de recollida de piles, voluminosos, residus tèxtils, sigui a les deixalleries o a punts concrets habilitats al municipi, segons tres sistemes de recollida:

- Contenedors: es troben tant a les voreres dels carrers com soterrats.
- Pneumàtica: està especialment pensada per a la recollida de la fracció del rebuig i la matèria orgànica. Es tracta de bústies d'abocament en edificis o al carrer.
- Porta a porta: recollida en les bosses d'escombraries a la porta de casa.

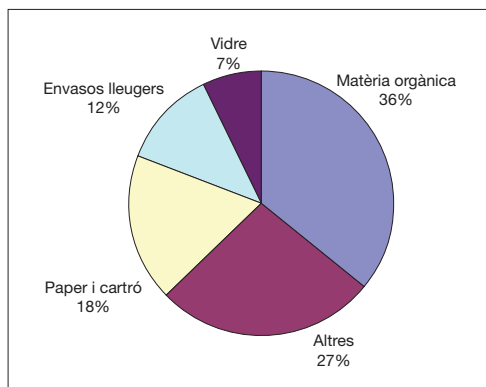


Figura 38. Models de segregació de residus. Informe de sostenibilitat ambiental del programa de residus municipals de Catalunya, Agència de Residus de Catalunya.

Font. PÉREZ, Marta, PÉREZ-GOROSTIZA, Santi. «Habitants i habitatges: usos i comportaments sostenibles», a Cap a un habitatge sostenible. Barcelona: CADS, 2010.

24.3.1.4. Resum

Per a dos dels tres vectors estudiats, l'aigua i l'energia, la importància del consum domèstic en comparació a la resta de sectors és relativament baixa. Només en el cas dels residus, aquest pes resulta superior a una cinquena part del total. Ara bé, cal tenir present que el sector domèstic no és un sector productiu, sinó consumidor. A més, quan es deixen de banda els valors globals i s'estudien les zones que concentren més població, la importància del sector domèstic

augmenta molt. Per al cas de l'aigua, esdevé un 43,7% quan es consideren les conques internes, i fins a un 67% en el cas de la regió metropolitana de Barcelona. Per al cas de l'energia final, quan es tracta de la ciutat de Barcelona enlloc del global català, el valor passa de 13,5% a quasi el doble (25%). I per a les emissions de CO₂ associades, anàlogament, es passa d'un 7% en el global català a un 24% pel cas concret de Barcelona.

Vector ambiental	Sector domèstic	Sector industrial	Sector dels transports	Sector agroromader	Sector de serveis
Consum d'aigua	18,4%	9%	–	72,6%	*
Consum energia primària	9%	22%	26%	3%	8%
Consum energia final	13,5%	32,1%	38,7%	3,5%	12,1%
Generació d'emissions (CO ₂)	7%	24%	38%	4%	3%
Generació de residus	21,7%	33%	–	–	*

Taula 7. Importància relativa del sector domèstic en el consum de recursos naturals i la generació de residus i emissions a Catalunya.

Notes: En el cas del consum d'energia primària, faltaria el sector de producció d'energia (32 %).

En el cas de la generació de residus, manca el sector de la construcció (45,6 %).

24.3.2. Mesures per a la sostenibilitat a la llar

En l'*Informe cap a un habitat(ge) sostenible* s'han recollit en una taula més de 30 accions per a la millora de la sostenibilitat a la llar. Aquestes accions es classifiquen en funció del vector al qual influeixen (energia, aigua, materials) i el tipus d'acció (canvi tecnològic o canvi d'hàbits). Sempre que ha estat possible, cadascuna de les mesures llistades s'ha emmarcat en una categoria concreta de les distribucions de consums descrits a l'anterior apartat, per tal de conèixer el percentatge del consum domèstic concernit i la respectiva mesura de canvi.

La sostenibilitat a la llar és quelcom més que una suma d'aquests dos factors, hàbits i tecnologia. L'eficiència de les noves tecnologies adoptades en la despesa d'aigua o energia, per exemple, ha d'anar acompanyada d'uns usos racionals d'aquestes tecnologies i d'un manteniment adequat.

Hi ha dos conceptes clau en la resposta sostenible a la llar: la reducció del consum de recursos naturals i la prevenció en la generació de residus. Els nostres hàbits són la clau per al canvi, especialment pel que fa a la prevenció. Els mitjans tecnològics, acompanyats d'uns bons usos, poden contribuir a la reducció del consum de recursos.

- En el cas de l'energia, a excepció de la instal·lació de bombetes de baix consum, de fàcil aplicació, les altres mesures tecnològiques són de més difícil aplicació i de major cost econòmic. Malgrat això, són accions molt efectives en la reducció del consum d'energia (i també d'aigua) de la llar: els canvis adreçats a la renovació de calderes, electrodomèstics i bombetes incideixen conjuntament en més del 70% del consum energètic domèstic.

En el cas dels hàbits sobre l'energia, s'hi pot incidir molt fàcilment, parant atenció en algunes accions que fem de forma quotidiana. Per exemple, mantenint una adequada climatització, evitant temperatures massa baixes a l'estiu i massa altes a l'hivern, tapant les olles mentre cuinem o apagant completament els aparells electrònics. Totes aquestes accions també ajuden a reduir el consum energètic de les nostres llars. Moltes de les mesures tecnològiques i d'hàbits esmentades

contribueixen a una reducció del consum associat als vectors d'energia i d'aigua. Són, bàsicament, la renovació d'electrodomèstics i de calderes per noves instal·lacions de classe A, o les rentadores i rentaplats bitèrmics. La racionalitat, i especialment, el manteniment, són factors fonamentals per obtenir una millora real vers la sostenibilitat a les nostres llars. Un bon manteniment és essencial pel bon funcionament de calderes i electrodomèstics, així com un ús racional que garanteixi les millors d'eficiència que cerquem. En aquest sentit, cal recordar la necessitat d'utilitzar rentadores i rentaplats quan estiguin plens; així com descongelar el frigorífic abans que la capa de gel no sigui major de 4 mm de gruix (també és important netejar la part posterior al menys un cop a l'any, i revisar les gomes i el tancament de la porta). Continuant amb el manteniment, és clau la vigilància de les pèrdues de calor a la llar, la neteja de les bombetes i pantalles, així com la revisió periòdica dels equips de calefacció, escalfadors d'aigua, cuina i forn.

- Pel que fa al vector aigua, destaca que les accions tecnològiques i d'hàbits assenyalades afecten fàcilment més del 60% del consum domèstic (vàter, dutxa i aixetes). Les mesures tecnològiques —instal·lació de reductors de cabal a la dutxa, de mecanismes de doble botó per al vàter o airejadors per a les aixetes— són fàcils d'aplicar. Tenint en compte la creixent importància dels jardins a la tipologia d'edificació dispersa, destaquen també les possibilitats tecnològiques del rec per degoteig o microaspersió. Quant als hàbits, assenyalarem algunes accions que ajuden a reduir el consum en la nostra llar. Novament, el manteniment és una actitud clau. Accions com vigilar les fuites a les aixetes poden arribar a evitar el consum d'uns 500 litres mensuals d'aigua. A més, cal tenir en compte que els mecanismes estalviadors de les dutxes i les aixetes requereixen un manteniment periòdic en aquelles llars en què l'aigua de la xarxa tingui més calç del normal. Els hàbits són molt importants també en la jardineria, ja que accions com regar a primera hora del matí o a última del vespre, o el reaprofitament d'aigua neta (mentre s'escalfa per a la dutxa o la que fem servir per rentar les verdures), són accions que ens ajuden a reduir el

consum d'aigua al jardí. Destaquen també les possibilitats dels electrodomèstics de classe A o les rentadores i rentaplats bitèrmics, ja comentades a l'apartat anterior.

- Finalment, pel que fa als residus i materials, les recomanacions s'encaminen a la prevenció de la generació de residus a la llar, evitant els productes d'un sol ús, les bosses de plàstic o de safates de porexpan i fent ús del cabàs o el carro a l'hora de fer la compra, o la pròpia reutilització de paper o d'envasos. Altres accions recomanables malgrat, que no incideixin en el volum de residus generats a la llar, són el reciclatge de residus, l'ús de paper reciclat o envasos reutilitzables. Per reduir el pes i volum de la bossa de residus, s'assenyala la possibilitat de realitzar compostatge casolà, que es pot adaptar tant a habitatges unifamiliars amb jardí com a blocs plurifamiliars de dimensions més reduïdes, i permet reaprofitar tota la matèria orgànica en forma de compost, cosa que en disminueix fins a un 45%.
- A tall de conclusió, en aquest capítol es demostra que l'adopció de noves tecnologies i un canvi en els nostres hàbits a la llar es poden traduir en un gran potencial de millora ambiental a l'àmbit domèstic. Les tecnologies existents permeten, en molts casos, reduccions de consum entre el 20% i el 50% en els tres vectors estudiats, que acompanyades per uns bons hàbits poden esdevenir encara més grans. Ara bé, a banda de bons hàbits i canvis tecnològics, és fonamental dur a terme un manteniment sostenible de la nostra llar, que en maximitzi la qualitat ambiental dintre de les respectives possibilitats (característiques constructives, orientació, etc.). I en aquells edificis de nova construcció que incorporin millores ambientals (captadors solars tèrmics, electrodomèstics i calderes eficients, etc.), aquest manteniment esdevé tant o més necessari, per optimitzar les millores aconseguïdes.

24.3.3. Objectius i accions per a la sostenibilitat a la llar. Pautes bàsiques⁸²

En tant que el consum domèstic està directament associat als nostres hàbits, aquests es presenten

com un factor important a l'hora de disminuir la factura ambiental de la nostra societat. Un canvi en aquest sentit és necessari si tenim en compte que, en les darreres dècades, els estils de vida adquirits estan incrementant la pressió sobre els sistemes naturals més del que correspondria linealment al creixement demogràfic. El desenvolupament econòmic s'ha traduït en un increment de la despesa pel consum de béns associats a un impacte ambiental més elevat.⁸³ Un canvi social vers uns hàbits de consum responsables i sostenibles tindria beneficis en dos sentits: de manera directa, reduint el consum i els impactes negatius sobre el medi ambient, i de manera indirecta, influïnt sobre el mercat per tal d'afavorir una producció més sostenible.

- Ja hem assenyalat que la tecnologia es presenta avui dia com una de les principals aliades en aquest canvi social (tant per reduir el consum domèstic com per propiciar nous mercats de producció sostenible), ja sigui tecnologia aplicada a les noves construccions i que impliqui millores ambientals (captadors solars tèrmics, electrodomèstics i calderes eficients...) ja sigui la tecnologia aplicable en general a la llar (bombetes de baix consum, mecanismes i aixetes d'aigua estalviadors, etc.).
- Tanmateix, s'ha de tenir en compte que la complexitat de factors (socials, estils de vida, context institucional, condicionants socioeconòmics i d'accés a la informació) que influeixen en el consum domèstic fa que l'adquisició i consolidació real de comportaments sostenibles no sigui una tasca senzilla: les accions encaminades a fer que aquest consum sigui més sostenible s'han d'enfocar des d'una perspectiva integral i multisectorial, i s'han d'aconseguir mitjançant un procés de canvi social i aprenentatge col·lectiu, en el qual cal promoure la construcció de valors ambientals, cal generar informació útil basada en els efectes dels nostres hàbits i cal posar a l'abast de la ciutadania eines i recursos per actuar de manera diferent.⁸⁴

83. Martínez Iglesias, Mercedes; García, Ernest. «Tres notes sobre sostenibilitat urbana i formes de vida», a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2010.

84. Vegeu Castiella, Txema; Schaeffer, Bettina. «Promoure un consum domèstic més sostenible», a *Cap a un habitat(ge) sostenible*, CADS, 2010.

82. Apartat a càrrec de Manuel Gausa.

- L'ambientalització dels preus és una mesura que pot contribuir a corregir inèrcies. El foment i la implementació de polítiques fiscals ambientals és, alhora, una eina imprescindible per generar un autèntic canvi d'hàbits, penalitzant el malbaratament o l'ús intensiu de recursos i, paral·lelament, incentivant i premiant l'estalvi i l'ús eficient.⁸⁵
- La informació i la comunicació són alhora eines importants destinades a afavorir un canvi real en els hàbits dels ciutadans. Moltes de les campanyes de comunicació i sensibilització realitzades fins ara tenen un ressò de curta durada i amb efectes reals sobre el consum poc apreciables. Es recomana que les accions comunicatives neixin de l'experiència compartida (ciutadania, comerços, administració) i s'emmarquin en processos de canvi, amb missatges clars, informació rellevant, objectius visibles i realistes i recursos concrets per posar en pràctica nous hàbits.
- El valor d'exemple de les administracions públiques és un altre punt clau en la fita d'aconseguir un canvi real en els hàbits dels ciutadans. L'administració ha de ser un exemple i un punt de referència per als ciutadans sobre pautes de consum sostenible (mitjançant programes d'ambientalització, polítiques de compra verda, gestió de residus...).
- El paper dels actors intermedis (establiments comercials) entre l'administració pública i el ciutadà es presenta així mateix com una oportunitat per crear un canvi social. Aquests actors tenen un gran valor perquè són pròxims als ciutadans, i poden contribuir a la normalització i acceptació de bones pràctiques i productes ambientals innovadors. Com es comentava anteriorment, en aquest sentit, a més, es pot influir sobre el mercat per tal d'afavorir una producció més sostenible.

El reforçament del marc legal ambiental (elaboració d'un necessari pla estratègic de consum sostenible) permetria insistir en la necessitat de combinar les mesures penalitzadores o autores-

ponsabilitzadores amb altres de gratificadores i/o bonificadores (fàcil accés a punts verds, espais de brossa neta en els mateixos blocs, incentivació de la recuperació de paper i vidre amb possibles reemborsaments, acords amb la indústria de l'embalatge i possibles polítiques d'envasos retornables, etc.)

- Des del punt de vista essencialment arquitectònic, caldria estudiar amb més precisió les possibles relacions entre les diferents solucions, espacials i distributives, utilitzades tradicionalment en la concepció de l'habitatge (distribucions a partir d'envans —habitacionals—, articulació de peces obertes, o solucions tipus *loft*, disposicions tridimensionals en dúplex, etc.) i les repercussions que tenen en els hàbits i consums a la llar. Aquesta anàlisi, complexa, requereix instruments de recerca multi-sectorials (arquitectònics, sociològics, antropològics, econòmics) així com àmbits d'estudi i seguiment, la dimensió total dels quals està encara per definir.

La conseqüent declinació arquitectònica de les pràctiques tradicionals hauria de combinar-se, en aquest sentit, amb el suport a projectes d'anàlisi i de recerca encaminats a investigar les diferents dinàmiques ambientals (variació de la petjada ecològica i de les emissions de CO₂, nivell de confort, benestar social, etc.) de les famílies catalanes —en funció del tipus d'habitatge, el model d'assentament (rural, urbà, suburbà), l'estructura familiar, la renda per càpita, la sensibilització mediambiental, etc.— amb la finalitat de conèixer les relacions entre els diferents models d'habitatge i d'assentaments i la repercussió que tenen sobre els diferents indicadors contemplats.

24.4. Consideracions finals. Cap a un urbanisme i una arquitectura (més) interactius⁸⁶

A Catalunya, la sensibilitat sostenible ha estat pionera i, en aquests moments, destaca per la inicial incidència normativa que ha tingut. Tanmateix, encara que l'assimilació progressiva d'una certa ètica responsable —políticament i tecnolò-

85. Pérez, Marta; Pérez-Gorostiza, Santi. «Habitants i habitatges: usos i comportaments sostenibles», a *Cap a un habitatge sostenible*. Barcelona: CADS, 2010.

86. Apartat i conclusió a càrrec de Manuel Gausa (coord. gral.).

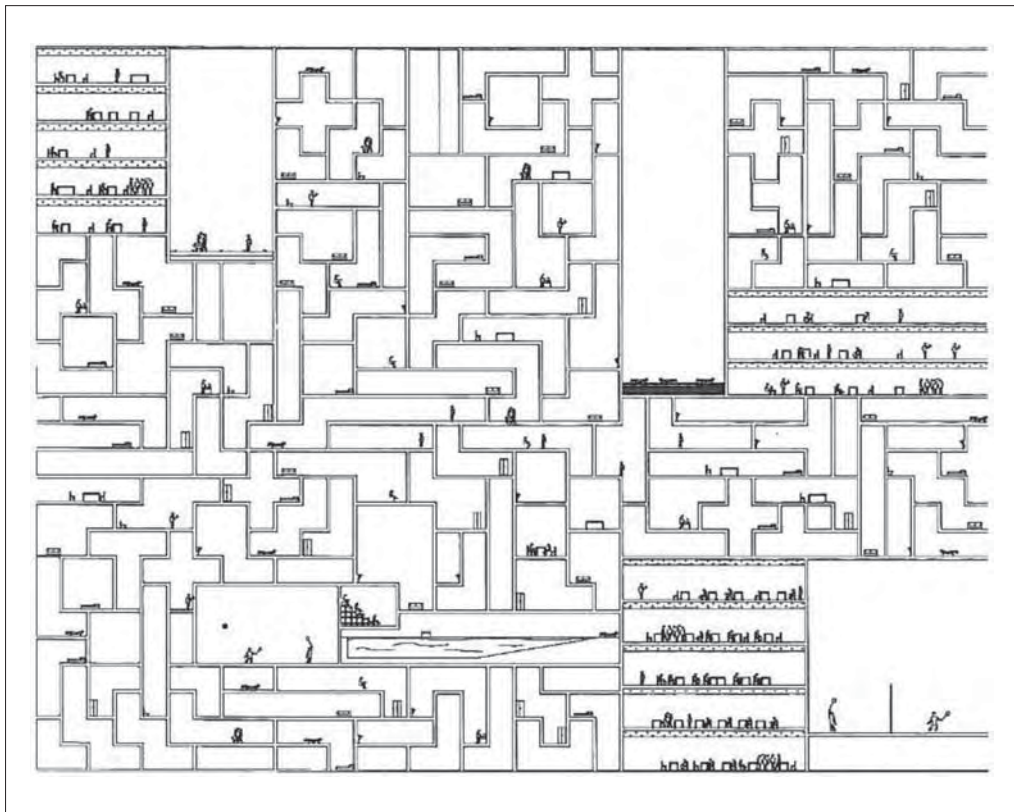


Figura 39. Diversitat tipològica i social amb secció variable.
Font: APTM, 2007.

gica ja assumida— es fa palesa en molts aspectes socioculturals, encara manquen iniciatives amb clara i destacable voluntat propositiva (cal assenyalar, en aquest sentit, la manca d'autèntiques experiències innovadores en el camp de l'habitatge —nous barris sostenibles i innovadors— o de grans projectes d'excel·lència, ambiciosos i referencials). Al llarg dels diferents estudis considerats és constatable una certa recursivitat, quant a paràmetres i conceptes de caràcter general, que es tradueix, en efecte, en una sedimentació —i homogeneïtat— de molts dels grans vectors associats a una nova consciència sostenible i, per tant, una certa assimilació generalitzada de preceptes i termes quotidianitzats. Si bé aquesta generalització pot comportar un cert risc de coneixement epidèrmic, també tradueix una clara incidència d'una nova sensibilitat en moltes de les tradicionals disciplines de l'espai que pot implicar,

ahora, una decidida aposta per la innovació i la creativitat.

En aquest sentit, i a tall de conclusió, caldria significar que:

1. La sostenibilitat no solament és una condició, sinó una ocasió per a la creativitat.
2. La sostenibilitat convoca i requereix una nova mirada sensible i innovadora sobre l'entorn.
3. La sostenibilitat és una oportunitat de canviar els nostres hàbits i rutines de consum, acceptats i/o estandarditzats, i reorientar-los de manera imaginativa.
4. Des d'aquestes premisses, un urbanisme i una arquitectura més sostenibles impliquen un urbanisme i una arquitectura més relacionals; és a dir, susceptibles d'afavorir una interacció positiva —global i local— a tots els nivells: amb el medi i l'entorn, amb el paisatge i el

context, amb l'individu i la comunitat, amb la tecnologia i l'economia, amb la cultura i la societat.

5. Aquest procés constata, així, el pas d'un urbanisme i una arquitectura merament esteticistes, compositius i/o figuratius, traçadistes i/o funcionalistes, cap a un urbanisme i una arquitectura decididament interactius... En interacció amb:

- El medi: atenció a una gestió racional (i una projecció espacial) dels cicles associats als recursos i béns naturals (energia, aigua, matèria i residus, ambient, etc.).
- L'entorn: atenció sensible al paisatge i al context.
- L'individu: atenció a factors de confort, salut i habitabilitat. Però també de diversitat, participació i benestar comú i capacitat de relació.
- L'economia: atenció als mitjans a l'abast, a la racionalitat de la gestió dels recursos, al desenvolupament contingut i a la optimització de les ràtios cost/benefici.
- L'accessibilitat: la llibertat de moviments, la comunicació i connectivitat generals i la gestió —i concepció— racionals de la mobilitat.
- La tecnologia: amb atenció a la innovació material i processal.
- La cultura i la creació contemporànies: com a traducció d'una certa confiança en el progrés cultural i social.

Des d'aquests punts de vista caldria.

I. Pel que fa al territori.

- Passar d'una planificació excessivament limitada, rígida i/o sectoritzada a una planificació més holística i flexible, atenta a la integració entre desenvolupament, preservació i mobilitat; és a dir entre, malles infraestructurals, paisatges articuladors i nodes de densitat variable.

II. Quant a urbanisme.

- Passar d'un urbanisme estandarditzat o continuista amb les formes tradicionals de la ciutat a un urbanisme innovador —reactivador— en complicitat amb una naturalesa retrobada i/o reinterpretada i amb una urbanitat reforçada i reimpulsada a un temps.

III. Respecte de la concepció arquitectònica i constructiva.

- Passar d'una concepció merament formal/funcional a una concepció més relacional, atenta als vectors bàsics de sostenibilitat (concepció integral dels cicles de l'aigua, l'energia, els materials i els residus, el confort, la salut i l'habitabilitat, l'atenció sensible al context i al paisatge, la participació i la interacció socials, la gestió de l'accessibilitat i la mobilitat i de la racionalitat econòmica o l'aposta per la qualitat i la innovació i per un disseny integrat).

IV. En relació al disseny i tecnologia

- Passar d'un disseny merament objectual a un disseny integrat/integrador susceptible de tenir en compte sistemes globals capaços de respondre als reptes de la sostenibilitat des de l'aplicació i la investigació de processos avançats i materials innovadors relacionats amb la indústria constructiva i la recerca tecnològica.

V. Des del punt de vista de la gestió de la llar

- Passar d'unes dinàmiques excessivament autoresponsabilitzadores o penalitzadores a unes dinàmiques més incentivadores i gratificants, combinant la difusió i comunicació de campanyes de sensibilització amb la capacitat d'incidir en els comportaments de manera positiva, atenent a la diversitat de les situacions, a una nova concepció dels espais de vida i producció, a les noves relacions entre espais servits/servidors i a l'aplicació de mesures bonificadores i qualificadores d'estalvi i generació.

Considerant, així mateix, una celebració global de la mixicitat i la diversitat a tots els nivells i escales (tipològics, edificatoris i urbans). En qualsevol cas, aquest objectiu plural no faria sinó ratificar la reiterada necessitat de plantejar una nova concepció de l'habitatge com a entorn de vida i de relació, de projecció personal i col·lectiva, en interacció creativa amb el medi, amb la cultura i amb la societat: no tan sols un lloc per la dignitat de viure, sinó pel plaer de viure... i de conviure.

El repte: passar d'un habitatge digne a un habitatge definitivament responsable... i estímulant.

24.5. Conclusions

24.5.1. Primera part. Escala urbanística: territori-ciutat, hàbitats i habitatges. Models d'ocupació, models d'articulació, models de desenvolupament

Pel que fa a l'escala territorial

El debat recurrent entre ciutat compacta i ciutat difusa deixa pas avui a un nou paradigma, el de la ciutat territorial o ciutat regió —pluricom-pacta— i a traduir-la —i articular-la— en xarxa.

Aquest nou model polifàsic, especialment pertinent a Catalunya, es basa en l'articulació concertada, en un mateix entorn relacional, de nuclis intensos de densitat urbana nodal, espais de reserva (i ús) paisatgístic i infraestructures de distribució i connectivitat, conjugats a nivells i escales diverses, segons nous esquemes integrats. Aquests processos, per la complexitat global (quantitat d'agents implicats, incidència en els diferents nivells administratius, transversalitat normativa, etc.) que presenten, compten, encara, amb escassos marcs referencials, per bé que fan part d'importants processos de reavaluació urbana sobre la ciutat i el territori, actualment en marxa, especialment a nivell europeu, i que insisteixen en la recerca sobre nous models i instruments d'actuació i planificació urbana.

En aquest sentit, cal destacar la importància de promoure i impulsar millor i amb més convicció, al nostre país, autèntics processos multisectorials de consultoria, prospectiva i recerca avançada, urbanoterritorial, destinats a plantejar possibles innovacions operacionals i metodològiques i matèries de debat i reflexió a l'entorn d'aquests temes.

Aquesta nova concepció de la ciutat i/amb el territori requereix l'articulació de nous formats de col·laboració intermunicipals (i, fins i tot, interterritorials) des dels quals propiciar un plantejament més coordinat dels programes i dels usos, de les reserves i dels creixements (i/o les plusvàlues) en el territori, que afavoreixi un plantejament més localitzat asimètricament de les càrregues i de les funcions, dels potencials de creixement i de les obligacions de reserva, lluny de les habituals inèrcies particularistes i dels actuals àmbits competencials locals (amb les con-

seqüents gestions endògenes dels processos urbanístics) que compensi, en aquests escenaris concertats, ingressos i plusvàlues i reparteixi fiscalitats, recursos i beneficis entre llocs de creixement i llocs de preservació.

Orientar aquesta acció i interacció multipolar entre estructures urbanes i estructures geogràfiques, sistemes globals i subsistemes locals, moviments particulars i moviments generals, requereix la concepció estratègica de nous escenaris de concertació, així com de nous criteris de desenvolupament i, especialment, de nous esquemes direccionals, susceptibles de detectar condicions potencials en el sistema i d'induir-hi accions i reaccions qualitatives.

Concebre el territori com un escenari d'intercanvis i simultaneïtats demana, alhora, una nova mirada sobre els tradicionals instruments de planificació i qualificació del sòl, destinada a reavaluar-ne les antigues formulacions. Una ciutat més complexa (susceptible de respondre a l'actual superposició de capes d'interpretació, activitat i vida) s'hauria d'abordar, preferentment, quant a ús i definició, a partir d'una qualificació del sòl basada, no ja en planificacions bidimensionals i *zonings* monofuncionals (zones residencials, zones industrials, zones verdes, etc.), sinó en criteris n-dimensionals susceptibles de combinar nivells i estrats d'ús i programació amb noves operacions integrades, de mixticitat tridimensional.

En relació amb l'escala urbana

La política pública a l'entorn de l'urbanisme residencial s'ha orientat, preferentment, durant les dues últimes dècades, cap a un cert ideari conservador i recreatiu de la ciutat, basat en la reconstrucció i/o expansió i continuïtat traçadista dels teixits convencionals: illa de cases, carrer, teixit, traçat, ple sobre buit... constitueixen els puntals d'una visió neotradicional de les formes urbanes en el territori, sovint contraposades a un paisatge a parcel·lar o a ocupar. Davant d'aquestes inèrcies, cal impulsar amb més decisió una autèntica recerca aplicada susceptible d'aprofundir en un nou gènere de repertoris tipològics, des dels quals treballar tant amb l'acumulació puntual com amb l'articulació i amb el paisatge, per donar resposta als grans reptes que es plantegen avui en l'escala urbana de la ciutat:

- Com treballar cap a dins, en els teixits centrals?
- Com treballar al llarg, en els espais de vora?
- Com treballar en i entre, en les àrees disperses?

Lluny de les fórmules universals o de les convencions isòtropes i estandarditzades, les demandes d'una realitat més rica i sostenible exigeixen articular models més complexos i sensibles al medi: diversitat, mixicitat i densitat adequades, combinades amb bones infraestructures (connectivitat, accessibilitat i proximitat) i bones estructures de vialitat, disseny acurat dels edificis, de l'urbanització, dels espais lliures i de relació (jocs, esports, etc.) i del paisatge (natural i urbà), així com una bona programació d'usos diversos i complementaris al residencial, constituïrien factors susceptibles de constituir una nova generació d'espais referencials, atents, alhora, a una concepció integrada dels cicles de l'aigua, l'energia, els materials i els residus, el transport, la gestió econòmica, la participació i interacció socials i l'aposta per la qualitat i la innovació.

24.5.2. Segona part. Escala edilícia: ciutat-edifici, habitatges i habitatge. Paràmetres de disseny, criteris d'acció

Quant a l'escala edificatòria

La incorporació de noves regulacions ha permès millorar, en efecte, un cert modus operandi, dirigint-lo cap a una nova sensibilitat més responsable, encara que aquesta sembla haver-se limitat, freqüentment, a la superposició de nous dispositius tecnològics sobre una arquitectura de base tradicional (components solars, instal·lacions de baix consum, elements protectors i filtres, etc.) i requereix anàlisis més globals de les diverses aplicacions, concrecions i posades en pràctica, associades encara, majoritàriament, a dinàmiques relativament recents i mancades d'estudis detallats orientats a avaluar-ne l'emergència i possible evolució.

En aquest sentit, l'actual normativa (positivament valorada com a eina inicial) hauria de ser revisada per tal de promoure, d'incentivar i de facilitar la concepció i projectació de noves solucions de disseny susceptibles d'adequar i integrar els nous requeriments tècnics en l'expressió de la forma arquitectònica.

Per tal de definir les estratègies de millora de la sostenibilitat en el camp de l'edificació i l'habitatge, cal articular mesures més ambicioses a l'entorn dels quatre grans àmbits associats als cicles de l'energia, l'aigua i la matèria, així com a paràmetres bàsics de confort ambiental i salut i habitabilitat, segons els següents objectius i principals línies d'acció.

A aquests vectors caldria incorporar-ne d'altres, referits a criteris d'interacció paisatgística —factor verd— i disseny intel·ligent —sistemes constructius innovadors— que, d'una manera més dispersa, apareixen també citats —com molts dels anteriors— en el Decret d'ecoeficiència a l'edificació.

La insistència en la importància d'una construcció responsable integrada en una planificació, una urbanització i un disseny arquitectònic autènticament sostenibles —capaç de combinar paràmetres d'eficiència en l'estalvi i la captació, amb noves concepcions espacials i constructives adequades als nous reptes socioculturals— resulta fonamental tant pel que fa a l'aplicació de nous materials (ecoproductes, reproductes, etc.) com de nous productes industrials i de sistemes d'innovació tecnològica (construcció en sec, industrialitzada o semindustrialitzada, etc.), i pot generar solucions susceptibles d'operar només amb el 50% de l'energia d'un edifici convencional, amb sobre costos a l'alça d'un 4% a un 7%, amortitzables en un període de deu anys.

Seria recomanable, analògament a l'escala urbana i territorial, impulsar un nou tipus d'operacions pilot, de concepció més flexible i oberta, susceptibles de constituir nous projectes referencials d'una política innovadora, encara per desenvolupar plenament en un camp —el de l'habitatge— massa subjecte a paràmetres d'hàbits processals.

24.5.3. Tercera part. Escala domèstica: edifici-llar, habitatge i habitants. Usos i usuaris, pautes de comportament.

Respecte de l'escala domèstica

El consum domèstic té una incidència important sobre el medi ambient. Per un costat, consumeix recursos naturals (aigua, energia, matèries primeres) i genera diversos impactes ambientals (residus, aigües residuals, emissions atmosfèriques).

En aquest sentit, encara que la tecnologia es presenta avui dia com una de les principals aliades en aquest canvi social, cal insistir en un reforçament del marc legal ambiental, una millor ambientalització dels preus, així com en campanyes d'informació i comunicació associades al valor d'exemple de les administracions públiques i a mesures bonificadoras, i no solament penalitzadores. Cal incentivar millor la recerca sobre la relació entre espai habitat (cèl·lula habitacional) i comportament sostenible a la llar.

Des del punt de vista essencialment arquitectònic, es proposa estudiar amb precisió les possibles relacions entre les diverses solucions, espacials i distributives, utilitzades tradicionalment en la concepció de l'habitatge (distribucions a partir d'envans —habitacionals—, articulació de peces obertes, o solucions tipus loft, disposicions tridimensionals en dúplex, etc...) i les repercussions que tenen en els hàbits i consums a la llar.

Aquesta anàlisi, complexa, requereix instruments de recerca ambiciosos i multisectorials (arquitectònics, sociològics, antropològics, econòmics), així com àmbits d'estudi i seguiment, la definició total dels quals encara està per definir. Es suggereix, en aquest sentit, la implementació d'estudis científics encaminats a investigar aquesta temàtica i la conseqüent traducció —i declinació— arquitectònica.

També es suggereix donar suport a projectes d'anàlisi i de recerca encaminats a investigar les diferents dinàmiques ambientals (variació de la petjada ecològica i de les emissions de CO₂, nivell de confort, benestar social, etc.) de les famílies catalanes en funció de: a) el tipus d'habitatge; b) el model d'assentament (rural, urbà, suburbà); c) l'estructura familiar; d) la renda per càpita; e) la sensibilització mediambiental— per tal de conèixer les relacions entre els diferents models d'habitatge i d'assentaments i la repercussió que tenen sobre els diferents indicadors considerats.

4a part

La recerca sobre el canvi climàtic a Catalunya

25. La recerca sobre el canvi climàtic a Catalunya

Josep Enric Llebot, Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona

Josep Enric Llebot (Barcelona, 1953). Doctor en Ciències Físiques, ha treballat en termodinàmica de processos irreversibles, radiació solar i teledetecció i, actualment, física ambiental, especialment en temes relacionats amb el canvi climàtic. Ha realitzat estades de recerca a Alemanya (DFVLR), Estats Units (Univ. California Berkeley, Univ. Pittsburg) i al Canadà (Univ. Sherbrooke). Ha publicat al voltant d'una vuitantena d'articles científics, dels quals una vintena en l'anàlisi de l'estructura termodinàmica del sistema climàtic, i una vintena de llibres. Ha estat degà de la Facultat de Ciències de la UAB i de la UdG, becari del programa USIA del govern dels Estats Units, i de l'OTAN. Ha estat guardonat amb un accèssit del primer Divulga de la Fundació La Caixa (1986), amb el Premi de la Fundació Enciclopèdia Catalana a la Investigació Científica (1991), amb el Premi Prat de la Riba de l'Institut d'Estudis Catalans (2000) i amb el Premi de Literatura Científica de la Fundació Catalana per a la Recerca i Innovació (2005). Actualment és catedràtic de física de la matèria condensada de la UAB, membre de l'Institut d'Estudis Catalans, del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya, del Grup d'Experts en Energia de la Generalitat de Catalunya, i del Consell Assessor del Zoo de Barcelona. També és membre de l'*American Geophysical Union* i de l'*American Meteorological Society*. Ha estat i és el coordinador científic del primer «Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya» i coordina el segon. Actualment és director del Departament de Física de la UAB, president de la Societat Catalana de Física, i membre de la junta de la divisió de física ambiental de la *European Physical Society*.

Resum	1127
25.1. Introducció	1129
25.2. La recerca sobre canvi climàtic: temes que s'hi inclouen	1129
25.3. Centres i grups que fan recerca sobre canvi climàtic a Catalunya	1131
25.4. Projectes	1137
25.4.1. Projectes europeus	1137
25.4.2. Projectes competitius espanyols	1139
25.4.3. Convocatòries de la Generalitat de Catalunya: grups de recerca de la Generalitat de Catalunya	1142
25.4.3.1. Grups de recerca emergents	1142
25.4.3.2. Grups de recerca consolidats	1142
25.5. Resultats de la recerca	1144
25.5.1. Participació en organitzacions nacionals i internacionals	1144
25.5.2. Tesis llegendes (2000-2007)	1147
25.5.3. Articles publicats a revistes incloses al SCI (2000-2008)	1147
25.6. Conclusions	1150
Annex	1150
Acrònims usats en el treball	1152

Resum

L'estructura científica que dona suport a la recerca en canvi climàtic encara és fràgil. La major part d'investigadors treballen en departaments i centres en els quals la recerca sobre els temes de canvi climàtic no és la principal línia estratègica, i disciplinàriament estan classificats en àrees de coneixement clàssiques.

Més del cinquanta per cent dels projectes competitius on participen investigadors catalans corresponen a l'anàlisi de les observacions dels canvis del clima, a l'estudi de les emissions i dels cicles biogeoquímics.

Durant els darrers anys ha augmentat notablement el nombre de projectes competitius dedicats a l'estudi dels impactes del canvi climàtic i a l'anàlisi de la seva relació amb els riscos naturals.

La meitat dels projectes dedicats a estudiar els impactes del canvi climàtic tracten dels impactes sobre el medi vegetal.

La producció científica en forma de publicacions en revistes SCI en temes de canvi climàtic s'ha multiplicat per 3,5 des de l'any 2000.

Es dedica molt poca atenció als estudis d'adaptació i mitigació i a l'anàlisi de polítiques de canvi climàtic

Hi ha una gran dispersió de temes tractats pels investigadors: la meitat dels articles publicats durant el període analitzat, 2000-2008, ho ha estat en revistes amb menys de cinc articles d'autors catalans.

La participació de científics de Catalunya en comitès i organitzacions internacionals ha crescut de forma notable durant el període de temps analitzat.

25.1. Introducció

La comunitat científica catalana ha evolucionat, en general, fortament durant els darrers deu anys. Tot i que no podríem dir encara que s'hagi arribat a un grau de maduresa completa, sí que en volum, producció i capacitat de captació de recursos té una posició força digna en el context europeu i internacional. Ens falta estructura i passar de la quantitat, que té uns índexs bons, a la qualitat. Tot i que la comunitat científica que es dedica a estudiar diferents aspectes del canvi climàtic es pot descriure també en aquest context de creixement, no es pot dir el mateix, també en termes generals, pel que fa a estructuració i a producció continuada. Per això en aquest estudi, realitzat a partir de les dades proporcionades per L'Observatori de la Recerca de l'Institut d'Estudis Catalans, entre els anys 2000 i 2008, s'obté una imatge de la comunitat científica catalana que treballa en temes relacionats amb el canvi climàtic. Aquesta primera imatge té caràcter d'esborrany, però dona una visió sobre la comunitat experta en temes de canvi climàtic del país. L'any 2001 es va presentar el tercer informe del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (en anglès, IPCC), que d'alguna manera va portar de manera definitiva els temes de canvi climàtic a la palestra pública i que va donar un gran impuls a la recerca en canvi climàtic en les seves múltiples facetes disciplinàries.

Al país hi ha dos grups que tradicionalment s'han dedicat amb constància i eficàcia a l'anàlisi de les sèries de variables climàtiques, un a la Universitat de Barcelona i un altre a la Universitat Rovira i Virgili, a més d'altres grups que s'han desenvolupat a l'entorn del CREAF, que són experts en ecofisiologia terrestre i que, davant dels canvis ambientals propiciats per l'escalfament de l'atmosfera i pel coneixement profund dels boscos, han estat especialment actius en l'estudi dels impactes fenològics i genètics sobre els ecosistemes terrestres, i sobre l'evolució i resposta dels boscos i dels sòls de casa nostra. Són aquests grups els que constitueixen la major estructura sobre la qual se sustenta la recerca en clima a casa nostra. Al voltant d'aquests, s'ha format una comunitat especialment activa en temes de paleo-

climatologia, ajudada per la vinguda d'alguns científics estrangers sota el paraigua de la fundació ICREA i per l'expertesa d'alguns instituts del CSIC amb els quals col·laboren. Pel que fa a la resta, en el moment de tancar aquest informe hi ha nombroses iniciatives, moltes de les quals surten en aquest informe, alguna d'elles amb un important suport institucional —com l'Institut Català del Clima— que configuren un esperançador esdevenidor per a la comunitat científica experta en canvi climàtic, però que s'han de consolidar, mostrar i demostrar encara el seu veritable potencial.

Malgrat això, la comunitat encara és fràgil. Els temes transversals estan més subjectes a les fluctuacions dels agents actius en la gestió de la recerca que els temes consolidats i tradicionals. En els aspectes formatius, la formació en temes de canvi climàtic és dispersa i desagregada. En els nous graus el canvi climàtic és més un recurs retòric que una veritable opció formativa. Pel que fa als postgraus, l'opció més estructurada i d'èxit és el Màster en Climatologia aplicada organitzat pels departaments d'Anàlisi Geogràfica Regional i d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona, que s'ha desenvolupat al llarg d'onze ocasions. Hi ha altres màsters i programes de doctorat que tenen algunes assignatures o mòduls en canvi climàtic, però que no estan centrats en aquesta temàtica.

La presència internacional dels nostres investigadors reflecteix aquest estat de la qüestió. Ha augmentat durant el període d'anàlisi d'aquest estudi però encara és discreta. Esperem que la comunitat científica de Catalunya continuï augmentant la seva participació en les diferents tasques de l'IPCC en el proper informe, el cinquè, que es preveu tenir enllestit l'any 2014.

25.2. La recerca sobre canvi climàtic: temes que s'hi inclouen

La recerca en canvi climàtic és molt ampla i abasta nombrosos camps de les ciències naturals, les ciències socials i la tecnologia. Sempre es diu que en ser un assumpte transversal els temes de canvi climàtic es tracten des de totes les disciplines clàssiques del coneixement. És per tant difi-

cil trobar una classificació acceptada per la comunitat experta. Els informes del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic ofereixen, en cadascun dels seus tres volums, una classificació que, com totes, mescla disciplines. En aquest estudi hem adoptat la classificació en set camps seguida per l'anàlisi feta per la direcció general de recerca de la Comissió de la Unió Europea per classificar els projectes europeus que tracten temes relacionats amb el canvi climàtic i que demanen subvenció. Aquesta classificació conté les divisions que segueixen.

I. Processos del clima, observacions i projeccions

Aquest apartat inclou la monitorització del clima i, per tant, el seguiment de les estacions meteorològiques que mitjançant les seves mesures proporcionen sèries de variables climàtiques com la temperatura, la precipitació, la velocitat del vent, el nivell del mar, la pressió, la humitat, etc. Aquest apartat també inclou l'anàlisi i descripció dels processos bàsics que caracteritzen el funcionament del clima i, eventualment, les seves parametritzacions, així com les teleconnexions i la modelització del clima. Aquest apartat també conté les determinacions del clima del passat històric i del passat geològic de la Terra, la paleoclimatologia i, naturalment, l'anàlisi de la variabilitat climàtica passada i futura.

II. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Cicles biogeoquímics: cicle del carboni i cicle del nitrogen

Aquest apartat inclou la mesura i el càlcul de les emissions atmosfèriques. Naturalment, per tal de fer projeccions sobre escenaris futurs de la composició atmosfèrica cal tenir en compte els cicles biogeoquímics. Per tant també es tenen en compte els estudis i els treballs dedicats a estudiar i caracteritzar el cicle del carboni als sòls, al mar a la biosfera i a la atmosfera, i les retroalimentacions que comporta. També figuren en aquest apartat l'anàlisi dels gasos reactius i el canvi climàtic: el metà, el nitrogen, l'ozó estratosfèric, etc., i també els estudis sobre els embornals terrestres i marítims i, per tant aquells estudis que mesuren i fan prediccions sobre els fluxos de carboni.

III. Interaccions del clima amb l'ozó estratosfèric

L'ozó afecta el clima i el clima afecta l'ozó. La temperatura, la humitat, el vent i la composició química de l'atmosfera afecten la formació d'ozó i, a la vegada, la presència d'ozó afecta aquests constituents atmosfèrics. Les interaccions entre l'ozó i el clima són objecte de discussió des del moment en què es va descobrir que els halocarburs podien contribuir a l'eliminació de l'ozó estratosfèric. Així mateix, la davallada de l'ozó estratosfèric fa disminuir la temperatura de l'estratosfera, la qual cosa té conseqüències sobre el canvi climàtic. En aquest apartat s'inclouen tots aquests temes.

IV. Interaccions del clima amb els canvis de la composició atmosfèrica

Aquest apartat inclou l'estudi dels canvis en la composició atmosfèrica i els forçaments climàtics, especialment a la troposfera, ja que els efectes sobre l'estratosfera es classifiquen a l'apartat anterior. S'hi inclouen, per tant: l'estudi dels aerosols, i la seva mesura i modelització; els efectes dels aerosols sobre la quantitat i el tipus de núvols; els canvis en l'albedo de la superfície terrestre i les conseqüències sobre el forçament; els efectes de les esteles dels avions i de les emissions dels vaixells sobre l'albedo i, naturalment, sobre el clima.

V. Impactes del canvi climàtic

Aquest apartat conté els treballs o projectes que tracten dels impactes del canvi climàtic sobre el sistema físic però també sobre l'activitat social i, per tant, inclou tant la constatació dels efectes del canvi climàtic sobre els ecosistemes marins i terrestres com les projeccions sobre els esdeveniments futurs i sobre la seva vulnerabilitat. També es tenen en compte els estudis sobre el canvi climàtic i els recursos hídrics, la seva quantitat i la seva qualitat present i futura. Un dels temes recurrents que pertany a aquest apartat de la classificació fa referència a la incidència dels canvis ambientals en la salut humana, i la incidència en la transmissió de malalties i de plagues a l'agricultura i a la ramaderia. Els impactes que apareixen en alguns estudis i projectes, molt importants per al nostre país i que pertanyen a aquest apartat són l'evolució i la vulnerabilitat

dels sistemes litorals, els estudis de l'impacte sobre activitats o sectors econòmics com per exemple, el turisme, malgrat que les anàlisis integrades sobre els sectors econòmics es tenen en compte a l'apartat VII.

VI. Canvi climàtic i riscos naturals i esdeveniments extrems

La temàtica dels riscos naturals té una magnitud i un abast que transcendeix més enllà de la pròpia del canvi climàtic, però atesa la seva importància i el creixement de l'interès per part de la societat i dels investigadors, la Comissió Europea ha optat per incloure-la en un apartat propi dins dels estudis de canvi climàtic. S'inclouen en aquest apartat tant els riscos meteorològics (les secades, les inundacions, els temporals marítims, els tornados, els huracans, etc.) com els riscos geològics (les esllavissades i els allaus). S'hi inclouen tant treballs que els mesuren, com els que avaluen la creixent vulnerabilitat i la predicció d'esdeveniments extrems.

VII. Adaptació, mitigació i política respecte el canvi climàtic. Estratègies d'adaptació i mitigació. Percepció social del canvi climàtic. Comunicació.

En l'anàlisi de les bases de dades de les publicacions, dels projectes i dels grups de recerca s'ha utilitzat un criteri ampli per seleccionar els projectes i els treballs. Aquest criteri és que el treball estigui realitzat en algun dels centres d'investigació del país o que algun dels investigadors pertanyi a algun centre del país de manera permanent o temporal.

25.3. Centres i grups que fan recerca sobre canvi climàtic a Catalunya

En aquest apartat s'inclouen instituts i grups de recerca que dediquen part de la seva recerca a algun o diversos temes relacionats amb el canvi climàtic. S'ha intentat que la relació fos el màxim de completa, tot i que la dispersió de la informació pot haver produït alguna omisió. La grandària dels centres i dels grups és molt variada. A vegades aquests ens aporten informació sobre el nombre de persones que la seva activitat relacionada amb el canvi climàtic involucra, mentre que en altres casos és molt difícil obtenir aquesta in-

formació. Per això no es pot donar una xifra exacta de persones que, a Catalunya, es dediquen de manera directa a recerca en canvi climàtic en els centres que s'esmenta a continuació, tot i que es pot avaluar, com a mínim en unes tres-centes persones. També hi ha un bon nombre de persones en departaments universitaris i en centres de recerca que encara són de més mal comptar, però que podem estimar al voltant d'unes dues-centes persones. En total, per tant, l'any 2009, podem xifrar la comunitat científica que treballa en tots els nivells en qüestions relacionades amb el canvi climàtic en unes cinc-centes persones. En aquest apartat no es tenen en compte, en canvi, els grups de recerca sorgits a partir de les convocatòries de la Generalitat de Catalunya, que s'inclouen en un altre apartat d'aquest treball.

Centre d'Estudis Avançats de Blanes – Consell Superior d'Investigacions Científiques (CEAB-CSIC)

És un centre del CSIC creat l'any 1984 que actualment centra la recerca en els camps de l'ecologia i la biologia d'organismes de sistemes marins i d'aigües continentals. És un centre petit que a començament dels anys 2000 va augmentar la seva activitat de recerca en ecosistemes continentals mitjançant la creació de les unitats associades d'Ecofisiologia, amb el Centre de Recerca i Aplicacions Forestals de Catalunya (CREAF), i de Limnologia, amb el Centre de Recerca d'Alta Muntanya de la Universitat de Barcelona. Ambdues unitats centren majoritàriament la seva recerca en aspectes de l'actual canvi global. El centre participa en l'observatori limnològic pirenaic, en l'observatori marí de la reserva de les illes Medes, i en l'observatori operacional del mar català, que recullen dades biològiques i meteorològiques que serveixen per quantificar la magnitud dels canvis ambientals i, en particular, el canvi climàtic. Hi ha línies de recerca lligades a aquests observatoris, especialment en limnologia sobre cicles biogeoquímics i embornals de carboni.

Centre de canvi climàtic – Universitat Rovira i Virgili (C³)

Aquest grup de recerca està format per 7 persones i les seves línies de treball són la mesura instrumental i la detecció i atribució dels canvis

climàtics, la reconstrucció i l'anàlisi climàtica, el procediment d'extracció de dades i tècniques d'homogeneització de les sèries climàtiques, la determinació de patrons temporals i espacials de variabilitat climàtica i la calibració de dades *proxy*. Aquest centre té una col·laboració regular amb la *Climate Research Unit* de la Universitat d'East Anglia i, juntament amb el Grup de climatologia de la Universitat de Barcelona, formen els que registren i tenen expertesa en l'anàlisi i tractament de sèries climàtiques.

Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)

És el centre de recerca que, tot i que té uns objectius amplis, conté més línies de recerca i més força de personal dedicades al canvi climàtic, especialment en els efectes del canvi climàtic sobre els ecosistemes terrestres, i té una producció científica en aquest tema molt voluminosa. Per tant, la major part de la recerca d'aquest centre que fa referència al canvi climàtic està classificada a l'àrea temàtica V, impactes del canvi climàtic sobre els ecosistemes terrestres, i en l'àrea temàtica II, especialment pel que fa a l'estudi i l'anàlisi dels cicles biogeoquímics. El CREAF té 51 investigadors estables i més d'una vintena d'estudiants de doctorat.

Les principals línies de recerca del Centre que podem considerar dins l'àmbit del canvi global, al qual dona suport un grup de 29 investigadors són:

Efectes del canvi climàtic en les poblacions vegetals

Els principals objectius són la monitorització de l'impacte d'episodis de sequera extrema en poblacions i comunitats mediterrànies, per modelitzar-ne la dinàmica i analitzar els mecanismes implicats en les respostes, i l'avaluació experimental, dels efectes de la variabilitat climàtica en els patrons de reclutament d'espècies de comunitats llenyoses mediterrànies. Es posa particular atenció als canvis en els patrons d'abundància i a les interaccions amb altres espècies.

Canvi climàtic i fenologia i distribució dels organismes

S'estudia com ha afectat el canvi climàtic les espècies i els ecosistemes en un passat immediat i com els afecta en el present a partir de registres

meteorològics i de registres històrics. Mitjançant registres del moment en què han ocorregut en el passat les diferents fases fenològiques, s'estudia com el clima ha afectat el calendari del cicle vital dels organismes, i això permet projectar com un clima futur pot modificar el seu calendari. A partir de registres de la distribució d'organismes en èpoques passades, com ara la distribució en alçada dels arbres, es detecten canvis que s'han produït en les darreres dècades i es relacionem amb el canvi climàtic o amb els canvis en els usos del sòl. D'altra banda, des d'un vessant experimental, al CREAF s'estudien les modificacions en la fenologia en parcel·les d'alguns ecosistemes (alzinars i matollars) en els quals se simulen l'escalfament i l'eixut previstos per les properes dècades pels models climàtics.

Respostes ecofisiològiques i biogeoquímiques al canvi climàtic

Mitjançant experiments de camp en els quals es modifiquen les condicions climàtiques de l'ecosistema en condicions naturals, s'estudia com el canvi climàtic altera l'ecofisiologia dels organismes i l'estructura i el funcionament dels ecosistemes mediterranis i, per tant, els fluxos de carboni, els cicles dels nutrients, i el cicle de l'aigua. En aquests experiments se simulen l'eixut i l'escalfament previstos per a les properes dècades pels models climàtics i s'estudia com hi responen les plantes, el sòl, i la comunitat, fent un seguiment de la seva evolució en el temps. De les plantes, s'estudien les respostes ecofisiològiques —intercanvi de gasos, nutrició, creixement, fluorescència— i l'ecologia reproductiva. Del sòl, s'estudien la respiració, l'activitat enzimàtica i la dinàmica de nutrients. De la comunitat, s'estudien aspectes estructurals com la biomassa i la riquesa d'espècies, i el reclutament i la supervivència de plàntules.

Modelització dels efectes del canvi global

L'anàlisi de l'efecte del canvi climàtic en els ecosistemes terrestres requereix l'ús d'eines que permetin preveure el funcionament d'aquests ecosistemes en el futur. Això ho permeten els models de creixement, que descriuen els processos ecofisiològics en relació amb les condicions ambientals i que poden utilitzar les previsions climàti-

ques futures com les que proporcionen els Models de Circulació General (GCM). Per avaluar la importància d'aquests efectes en els ecosistemes forestals, s'aplica el model GOTILWA+, i s'utilitzen els escenaris de canvi climàtic generats a partir dels escenaris socioeconòmics aportats per l'IPCC, on s'hi inclouen l'increment del CO₂ atmosfèric i les possibles evolucions de la precipitació i la temperatura en els propers cent anys a diferents regions d'Europa. L'anàlisi d'aquests escenaris futurs, i el mateix model GOTILWA+, s'han realitzat en el marc de diferents projectes europeus. El tema central d'aquesta línia de treball és com els ecosistemes forestals i els serveis que ofereixen als humans (producció de fusta, regulació hídrica, protecció del sol, entre d'altres) poden veure's afectats pel canvi climàtic.

Fluxos de carboni en ecosistemes terrestres

Es mesuren els intercanvis de gasos dels ecosistemes seguint diversos mètodes. Algunes aproximacions es fan mitjançant mesures instantànies a la fulla, i d'altres amb sistemes que permeten obtenir dades en continu a escales espacials més grans durant dies o setmanes. Aquestes mesures es realitzen en diferents ecosistemes; alguns, poc alterats per l'home (com són per exemple els alzinars de Prades i el Montseny), i d'altres sotmesos a pràctiques de gestió forestal, a pertorbacions com la sequera o que s'estan recuperant després d'un incendi. Aquestes mesures s'han integrat en models que simulen els processos esmentats, com el model GOTILWA+, per explorar les possibles conseqüències del canvi climàtic en els fluxos de carboni (i d'aigua) als ecosistemes terrestres mediterranis. Un altre grup del CREAM es dedica a l'anàlisi dels sòls i la seva protecció. Dins d'aquesta línia de recerca, formada per set persones, un dels temes d'expertesa és el segrest de carboni en els sòls.

Centre d'Investigació Socio-Tècnica – Centro de Investigaciones Energéticas Medio-ambientales y Tecnológicas (CISOT-CIEMAT)

Aquest centre realitza activitats d'investigació en les dimensions humana i social del risc i la seguretat en l'àmbit de l'energia, el medi ambient i la tecnologia. Una de les seves línies de recerca està dedicada a l'anàlisi del comportament humà i de

les iniciatives polítiques i dels instruments dissenyats per incidir en la qüestió del canvi climàtic antropogènic i el consum sostenible. En aquesta línia de recerca hi treballen vuit investigadors del centre, els quals han desenvolupat diferents projectes relacionats amb l'energia de fusió amb la captura i l'emmagatzemament de carboni.

Departament de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center (BSC)

Dins d'aquest departament una de les línies de treball és la qualitat de l'aire, i una altra és el canvi climàtic. Dins de l'àrea de qualitat de l'aire s'inclouen els càlculs de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, és a dir, els inventaris d'emissions avaluats segons metodologia IPCC i les projeccions d'emissions futures. S'hi poden incloure, per tant, els projectes i treballs sobre modelització de les emissions i de la qualitat de l'aire amb models d'alta resolució. En aquest apartat el grup que dona suport a aquests treballs està format per vint persones. Pel que fa específicament a l'apartat del canvi climàtic, el desenvolupament d'aquesta línia és molt menys actiu. Hi ha tan sols una persona dedicada als objectius generals d'aquesta línia de recerca, que són investigar les causes i els efectes del canvi climàtic i proporcionar informació fiable i acurada sobre els seus impactes mitjançant l'ús del model EC-EARTH ESM en combinació amb mètodes de regionalització. Si bé en l'altra línia de recerca els resultats són notables, aquesta és encara incipient.

Departament de Dret i Economia Internacionals – Universitat de Barcelona

Dins de l'àmbit de desenvolupament sostenible i dret ambiental, hi ha la línia de canvi climàtic pel que fa a tota la temàtica de legislació internacional lligada al canvi climàtic. Dins d'aquest departament hi ha quatre persones expertes en aquesta temàtica.

Grup d'Anàlisi de Situacions Meteorològiques Adverses – Universitat de Barcelona (GAMA-UB)

Grup format per vuit persones dins del Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona. Entre les línies de recerca del grup n'hi ha una de dedicada al canvi climàtic i

l'evolució del clima i la seva relació amb els riscos naturals, especialment l'evolució d'extrems hídrics, tema en el qual el grup desenvolupa i ha desenvolupat nombrosos projectes competitius nacionals i internacionals i nombroses publicacions. En col·laboració amb investigadors de la Facultat de Geografia i Història, el grup ha treballat episodis hídrics extrems a partir de fonts documentals.

Grup d'Ecologia Funcional i Canvi Global – Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (Ecofun)

Aquest grup, format per sis persones, dedica una bona part dels seus esforços a l'estudi del canvi climàtic i els canvis d'usos del sòl, el segrest de carboni i l'anàlisi del cicle de nutrients en sistemes agrícoles, de pastura i en boscos, i en la biodiversitat i el canvi global. Han participat i participen en nombrosos projectes com el projecte integrat europeu *CarboEurope*, que pretenia respondre a la pregunta de quin és el paper d'Europa en el cicle de carboni global, i actualment en el *Fluxpyr*, projecte interregional que permetrà conèixer l'impacte del canvi climàtic sobre els ecosistemes de muntanya amb especial incidència en l'agricultura i la ramaderia.

Grup d'Estadística, Economia Aplicada i Salut – Universitat de Girona (GRECS-UdG)

Aquest grup de recerca està format per cinc persones i es dedica a estudiar i analitzar, entre d'altres temes, estadístiques de temes ambientals. En aquest sentit ha estudiat els efectes del canvi climàtic sobre la salut humana.

Grup de Climatologia – Universitat de Barcelona

Aquest grup, juntament amb el Centre de canvi climàtic de la Universitat Rovira i Virgili (C³), són els que tenen més expertesa i ha analitzat i homogeneïtzat les dades de les sèries climàtiques de les variables climàtiques bàsiques per a Catalunya i l'Estat espanyol. Està format per dotze persones, i les seves línies de recerca principals es dediquen a l'anàlisi de la precipitació diària, als patrons de teleconnexions, a la climatologia sinòptica mitjançant la classificació de tipus característics de temps, a la variabilitat climàtica

especialment pel que fa a les tendències de la precipitació i de la insolació, el clima urbà i els riscos climàtics, les pluges abundants i les secades. El grup participa activament en els projectes europeus COST 733 de classificació de patrons climàtics i en el projecte ESPON d'avaluació dels efectes del canvi climàtic sobre les regions i les economies locals

Grup de Silvicultura, Ecofisiologia i Genètica d'Espècies Forestals – Universitat de Lleida

Aquest grup està inclòs dins de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, de la UdL. El grup treballa en reconstrucció climàtica a partir de la informació que donen els anells dels arbres, així com en estudis d'adaptació genètica dels arbres utilitzant isòtops estables (carboni 13 i oxigen 18) com a eina per interpretar les senyals climàtiques en els anells de creixement. Aquest grup és expert en l'aplicació d'aquesta tècnica a restes fòssils vegetals. Els canvis en el clima, com ara la manca d'aigua o l'augment de les temperatures, queden enregistrats en els anells i la seva interpretació permetrà anticipar la resposta dels arbres, i també dels boscos, als efectes del canvi climàtic.

Institut Català del Clima (IC³)

L'Institut Català del Clima fou creat pel Govern de Catalunya i la Universitat de Barcelona l'any 2008. És, per tant, un institut de recent creació que, naturalment, està en procés de formació i estructuració de les seves línies de recerca, i actualment té encara una escassa producció científica. Tal com consta en els documents als quals es té accés lliurement, els objectius de l'Institut són progressar en el coneixement de la variabilitat climàtica i assessorar i millorar les projeccions i prediccions locals i regionals. El centre també té el projecte d'establir un monitoratge de paràmetres climàtics a llarg termini en espais naturals de Catalunya. Malgrat aquests objectius generals es posa de manifest l'especial atenció a l'àrea mediterrània. L'Institut té l'objectiu d'organitzar-se en diferents seccions: dinàmica i impactes del clima; biogeoquímica climàtica; canvi climàtic i teoria del clima; paleoclima i observacions actuals; models i desenvolupament computacional, i predicció del clima. Aquesta darrera unitat, ja

estructurada, està formada per un investigador ICREA i cinc investigadors propis de l'Institut, i dedica els seus treballs al desenvolupament de prediccions estacionals i interanuals i a la combinació i la calibració de prediccions amb molts models.

Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals – Universitat Autònoma de Barcelona (ICTA-UAB)

L'Institut de Ciència i Tecnologies Ambientals és un institut propi de recerca que té cent setanta-dos investigadors, que s'agrupen en vuit àrees d'investigació, una de les quals és el canvi climàtic i global: geociències marines i oceanografia. En aquestes àrees s'estructuren diversos grups de recerca com el Grup d'Estudi de Processos Oceànics i Climàtics, que està format per vuit persones estables, la major part d'elles de la fundació ICREA. Entre les línies de recerca del grup s'esmenten geociències marines, biogeoquímica marina, oceanografia, biomarcadors, isòtops estables, elements de traça, contaminació, foraminífers, cocolitofòrids, radioactivitat ambiental, i radiocronologia. La major part de les publicacions del grup s'emmarquen en l'àrea temàtica I, i específicament en paleoclimatologia i tècniques associades per a aquest tipus d'estudis. Un altre grup de recerca dins d'aquesta àrea és el grup en recerca sociològica en canvi climàtic, energia i gestió de l'aigua. Està format per cinc persones, i la seva recerca s'orienta a estudiar els aspectes culturals, ètics i polítics del canvi climàtic, així com les diferents perspectives, incentius, capacitats i institucions que afecten l'adaptació i la mitigació des d'una perspectiva regional. L'ICTA organitza un màster *Erasmus Mundus Joint European Master programme in Environmental Studies*, conjuntament amb la Technische Universität Hamburg-Harburg (Alemanya) que és la institució coordinadora, la Universidade de Aveiro (Portugal), i la Universitt d'Aalborg University (Dinamarca). Aquest màster conté un mòdul dedicat al canvi climàtic amb una atenció especial a temes marins. Des de l'ICTA també es duen a terme recerques i projectes en la vessant de ciències socials del canvi climàtic, i aquests temes també tenen presència en mòduls independents del màster.

Institut de Ciències del Mar – Consell Superior d'Investigacions Científiques (ICM-CSIC)

L'actual Institut de Ciències del Mar es dedica a estudiar, de forma integrada, el medi marí i els organismes que hi viuen, amb voluntat pluridisciplinària. En aquest institut hi treballen més de 150 persones especialistes en els diferents aspectes de la recerca oceanogràfica, algunes de les quals des de fa anys, en temes relacionats amb el canvi global i el canvi climàtic. Les persones que estudien diferents aspectes relacionats directament amb el canvi climàtic formen part, sobretot, dels departaments d'Oceanografia física, de Geologia marina i de Biologia marina i oceanografia. Les principals línies de recerca són l'estudi de l'acidificació dels oceans i l'anàlisi paleoclimàtica de la variabilitat del pH del corall i de la temperatura del mar a partir de foraminífers, l'anàlisi dels corrents marins intermedis com a mecanismes de formació d'aigües superficials, el paper de l'oceà i de les interaccions oceà-atmosfera en la regulació del clima, i el reconeixement en el registre sedimentari de les variacions paleoceanogràfiques i paleoclimàtiques durant el Neogen-Quaternari al medi oceànic, variacions considerades clau per a l'estudi del canvi climàtic global. El grup de bioquímica oceànica i canvi global, particularment, està format per sis investigadors i té l'objectiu de diagnosticar els efectes del canvi global en el medi marí, amb un èmfasi especial en la pertorbació dels cicles biogeoquímics i les seves conseqüències. Els estudis utilitzen experiències al laboratori i observacions oceanogràfiques i de satèl·lit. Participen en nombrosos projectes sobre acidificació dels mars, el paper dels bentos en els cicles biogeoquímics, els canvis mesurats en les xarxes tròfiques al mar i les conseqüències del canvi global en la biodiversitat marina.

Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera – Consell Superior d'Investigacions Científiques (ICTJA-CSIC)

Entre les línies de recerca d'aquest institut figura l'evolució climàtica i ambiental de la Terra (empremtes físiques, geoquímiques i biològiques deixades en el registre geològic pels climes del passat), llur causes, interaccions i dinàmica. D'altra banda, els investigadors de l'institut també treballen en emmagatzemament geològic d'emissors de

gasos amb efecte d'hivernacle (CO_2). Una de les línies més destacades i productives d'aquest institut està en l'àmbit dels aerosols. És una línia molt àmplia però que té un significat i una repercussió importants en la recerca sobre canvi climàtic. Les publicacions d'aquest centre majoritàriament es classifiquen en l'àrea temàtica IV, interaccions del clima amb la composició atmosfèrica, i amb l'àrea temàtica V, d'impactes dels aerosols.

Institut de Diagnosi Ambiental i Estudis de l'Aigua – Consell Superior d'Investigacions Científiques (IDAEA- CSIC)

L'IDAEA té com a objectiu l'estudi dels canvis naturals i antropogènics que ocorren en els ecosistemes mitjançant tècniques químiques i geoquímiques, fonamentalment aquells que tenen com a conseqüència increments de toxicitat en organismes i humans. L'IDAEA s'ha organitzat a partir de l'experiència de diversos investigadors en medi ambient, química analítica, geoquímica, hidrologia i biotecnologia. L'IDAEA disposa de 174 investigadors agrupats en departaments de Geociències i Química Ambiental, una part dels quals es dedica a l'anàlisi del canvi global i dels cicles biogeoquímics (vuit investigadors) i de paleoclimatologia i paleoceanografia (nou investigadors). Aquest darrer grup és especialment actiu en el camp de la geoquímica orgànica ambiental. Aquesta disciplina comporta l'estudi de components orgànics de la geosfera, tant naturals com artificials, amb l'objectiu d'aconseguir informació sobre els processos bàsics del funcionament dels ecosistemes, de la seva evolució i de les pertorbacions antropogèniques que experimenten. L'àrea temàtica on s'inclouen els treballs del grup és la V, de l'impacte dels canvis ambientals en el funcionament dels ecosistemes.

Institut de Medi Ambient – Universitat de Girona (UdG-IMA)

L'Institut de Medi Ambient de la Universitat de Girona és un institut de recerca universitària que té com a objectiu la investigació bàsica i aplicada en els àmbits científics i tècnics de rellevància per a l'estudi i la gestió del medi ambient. Pel seu caràcter interdisciplinari, en el seu àmbit conflueixen i s'articulen diversos àmbits temàtics de re-

cerca a nivell local, regional i internacional. D'entre ells n'hi ha un de dedicat al canvi climàtic i els recursos energètics: aquest àmbit temàtic resulta de la preocupació sobre l'impacte que les activitats humanes tenen en l'entorn global, i inclou tant la recerca sobre el canvi climàtic antropogènic com aspectes que s'hi relacionen, com ara els recursos energètics. Entre els objectius de l'àmbit hi ha contribuir a millorar les prediccions climàtiques futures, tant a escala global com especialment a escales més grans amb el desenvolupament de projeccions climàtiques regionals. També es pretén millorar el coneixement del clima present i passat; donar suport a la implantació més extensiva de l'aprofitament de fons renovables d'energia, i descriure els impactes sobre el nostre entorn provocats pel canvi climàtic. D'entre els projectes duts a terme recentment destaquen, pel que fa al canvi climàtic, l'anàlisi de la climatologia de la nuvolositat, de la radiació a l'atmosfera i de la interacció amb núvols i aerosols.

Institut de Recerca i Tecnologia Agrícola (IRTA)

Malgrat que en els objectius fonamentals d'aquest important centre de recerca agrícola de Catalunya no s'hi inclou el canvi climàtic, en diversos projectes de l'Institut es toca aquesta temàtica atès que hi ha investigadors de l'IRTA experts en ecofisiologia vegetal. Alguns dels projectes de l'Institut tracten les vulnerabilitats i l'adaptació al canvi climàtic en el litoral mediterrani i de la problemàtica de l'aigua, especialment analitzant la disponibilitat d'aigua dolça en diferents escenaris climàtics, a partir de les cobertes del sòl i de la seva possible evolució en un període d'un segle. Altres projectes se centren en l'estudi específic de l'optimització de l'ús dels recursos naturals estudiant el disseny òptim de les instal·lacions, amb l'objectiu de minimitzar l'ús d'energies fòssils i equilibrar el balanç de les emissions de CO_2 , compensant les emissions de CO_2 . També hi ha projectes orientats a l'avaluació de l'emmagatzemament de carboni en sistemes forestals en regeneració i en la quantificació del carboni dels sòls agrícoles

Laboratori d'Enginyeria Marítima – Universitat Politècnica de Catalunya (LIM-UPC)

El LIM-UPC és un centre que treballa en set àrees científico-tècniques entre les quals trobem l'es-

tudi del clima marítim, de la hidrodinàmica costanera i de la seva afectació per part dels processos de canvi entre els quals es compta el canvi climàtic, especialment en el cas de costes deltaïques com la del delta de l'Ebre. Al laboratori hi treballen 32 investigadors que participen i han participat en nombrosos projectes europeus com el CIRCE, dedicat a l'estudi dels impactes del canvi climàtic a l'àrea mediterrània, o el *Flood-site*, que representa una anàlisi integrada del risc d'inundacions i de metodologies de gestió.

Observatori de l'Ebre – Universitat Ramon Llull-CSIC

Centre molt antic a Catalunya però que recentment ha obert una línia de recerca sobre el canvi climàtic especialment dedicada a l'impacte en els sistemes hidrològics i, sobretot, a la conca del riu Ebre. Aquesta línia incorpora els registres que es conserven a l'observatori sobre variables meteorològiques des de començaments del segle xx. L'incipient desenvolupament d'aquesta línia fa que el grup, format per tres investigadors permanents, encara no hagi assolit una activitat científica en forma de projectes i de publicacions en la temàtica del canvi climàtic.

Servei Meteorològic de Catalunya

El Servei Meteorològic de Catalunya aporta informació climàtica bàsica sobre el clima de Catalunya i les seves característiques a escala comarcal. Emet periòdicament informació sobre el caràcter climàtic dels mesos, estacions i anys i, recentment, sobre l'evolució climàtica interanual. Hi ha un grup de persones que treballen sobre l'ampliació de l'escala de les prediccions climàtiques a Catalunya.

25.4. Projectes

25.4.1. Projectes europeus¹

La informació que aquí es recull conté projectes que s'emmarquen en el 6è i, parcialment, el 7è programa marc. El 6è programa marc de recerca de la Unió Europea contempla una àrea

temàtica prioritària amb el títol «desenvolupament sostenible, canvi global i ecosistemes». A la descripció del contingut d'aquesta àrea temàtica s'inclou un apartat canvi global i ecosistemes on es concentren les línies que fan referència a temes de recerca en canvi climàtic prioritari: mecanismes i impactes de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i sistemes de mesura i de predicció del clima. En un altre apartat relacionat amb el desenvolupament de sistemes energètics sostenibles, s'esmenta l'interès prioritari també en el desenvolupament a un termini mitjà de sistemes d'emmagatzement de CO₂ per tal de desenvolupar plantes de generació d'energia final neta utilitzant energies fòssils. Al 7è programa marc de recerca (2007-2013), que en el moment d'escriure aquest text està arribant a la meitat de la seva aplicació, els temes de canvi climàtic apareixen en tres apartats, «Medi», Energia» i «Aliments, Agricultura, Pesqueries i Biotecnologia». No obstant, els temes més directes es troben a l'apartat Medi (*Environment*), que inclou l'apartat 6.1 *Canvi climàtic, contaminació i riscos*, que conté nou apartats: 1, el sistema Terra, el clima i els seus canvis abruptes; 2, emissions naturals i antròpiques; 3, el cicle del carbó; 4, gasos amb efecte d'hivernacle; 5, clima futur; 6, impactes naturals, socials i econòmics del canvi climàtic; 7, estratègies de mitigació i adaptació, incloent noves respostes al canvi climàtic; 8, riscos naturals associats al clima com inundacions, sequeres, tempestes i focs forestals; 9, impactes sobre la salut.

Es comptabilitzen, des de l'any 2000 i fins l'any 2008, la participació de grups amb seu als centres de recerca de Catalunya en un total de 39 projectes de característiques diverses pel que fa a la seva tipologia. D'aquests 39, 21 representen participacions en consorcis que duen a terme projectes europeus d'una durada mitjana aproximada de 48 mesos, la qual cosa significa una dedicació intensa i llarga. En cap d'aquestes participacions s'exerceix el lideratge, segons la informació disponible. Els centres individuals que concentren una major participació són, en primer lloc, l'Institut de Ciència i Tecnologies Ambientals de la UAB amb 5 participacions; el segueix amb 4 participacions el CREAL, situat també al campus de la UAB. La resta està molt repartida entre els diferents departaments i cen-

1. Informació obtinguda a partir de l'Observatori de la Recerca de l'IEC i del document *European Research Framework Programme: Research on Climate Change, Directorate General for Research Environment EUR 23609, (2009)*.

tres. De tots els projectes només vuit corresponen al 7è programa marc, la qual cosa és comprensible ja que el període de dades del que s'ha

disposat abastava només fins els primers mesos de 2009, quan el programa encara estava a les primeres fases del seu desenvolupament.

Centre	Institut/Departament	Total de projectes
CSIC		5 (12%)
	Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera	2
	Institut de Biologia Molecular de Barcelona	1
	Institut de Ciències del Mar	1
	Institut d'Investigacions Químiques i Ambientals de Barcelona Josep Pascual	1
UAB		11 (25%)
	ICTA	5
	CREAF	4
	Dep. Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia	2
UB		9 (21%)
	Dep. Ecologia	3
	Dep. Estratigrafia i Paleontologia i Geociències marines	1
	Dep. Productes Naturals, Biologia Vegetal i Edafologia	2
	Dep. Microbiologia i Parasitologia Sanitàries	1
	Laboratori de Recerca en el Clima ²	2
UdL		2 (5%)
	Dep. Informàtica i Enginyeria Industrial	1
	Centre Tecnològic i Forestal de Catalunya	1
UPC		10 (23%)
	Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia (CRAHI)	3
	Grup d'Investigació en Transport de Sediments (GITS)	1
	Dep. Teoria del Senyal	1
	Dep. Física Aplicada	1
	Centre Internacional de Mètodes Numèrics	1
	Barcelona Supercomputing Center	1
	CetAqua ³	1
	Hydrometeorological Innovative Solutions ⁴ (Hyds)	1
UPF		1 (2%)
	Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental (CREAL) ⁵	1
URV		2 (5%)
	Departament de Geografia	2
Altres institucions		3 (7%)
	Servei Meteorològic de Catalunya MeteoCat	1
	Agència Catalana de l'Aigua (ACA)	1
	Biología y Medio Ambiente (BMA S.L.)	1
Total		43 (100%)

Taula 1. Nombre de projectes europeus en què han participat diferents grups catalans (2000-2008). Hi ha quatre projectes on participen en el consorci dos grups, i que, per tant, estem comptant dues vegades.

2. Aquest Laboratori situat al Parc de Recerca de la UB recentment ha donat lloc a l'IC³, amb personalitat jurídica independent.

3. Centre d'Agbar que té al seu patronat la UPC.

4. Spin off de la UPC sorgida del CRAHI.

5. Centre independent que té al seu patronat a la Universitat Pompeu Fabra.

Els projectes es poden distribuir segons la classificació temàtica esmentada al començament d'aquest capítol.

	Nombre de projectes i percentatge
I. Processos del clima, observacions i projeccions	11 (28%)
II. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Cicles biogeoquímics: cicle del carboni i cicle del nitrogen	4 (10%)
III. Interaccions del clima amb l'ozó estratosfèric	0
IV. Interaccions del clima amb els canvis de la composició atmosfèrica	3 (8%)
V. Impactes del canvi climàtic	10 (26%)
VI. Canvi climàtic i riscos naturals i esdeveniments extrems	5 (13%)
VII. Adaptació, mitigació i política al canvi climàtic	6 (15%)
Total	39 (100%)

Taula 2. Projectes en què han participat grups catalans classificats segons categories temàtiques.

És de notar la concentració de projectes en les categories I i V. És lògic, ja que corresponen a la monitorització del clima i a l'anàlisi dels impactes. És de destacar el paper que ha tingut la Unió Europea a l'hora de promocionar projectes elaborats des de la perspectiva de la Mediterrània. En aquests projectes hi participen grups del principat juntament amb altres grups espanyols.

25.4.2 Projectes competitius espanyols⁶

Al Pla Nacional d'Investigació de I+D+I 2004-2007 els temes de canvi climàtic estaven situats a l'àrea prioritària de Ciències i Tecnologies Agroalimentàries i del Medi Ambient, que es desenvolupava en un programa de Biodiversitat, Ciències de la Terra i Canvi Global. Al Pla Nacional d'Investigació de I+D+I 2008-2011 actualment vigent hi ha una àrea estratègica, '8.3. Energia i canvi climàtic', la qual cosa mostra l'evolució de la promoció de la recerca des d'aspectes fonamentals cap a aspectes cada vegada més aplicats. A l'explicació de la línia estratègica del Pla es diu que la despesa pública en I+D+I en les àrees d'energia i canvi climàtic es dedica en un 70% a les àrees relacionades amb l'energia. El 30% restant es dedica a la investigació bàsica realitzada per les universitats en diferents programes de investigació en altres àrees relacionades amb el canvi climàtic. L'àrea estratègica es divideix en tres línies: línia 1, Energia i mitigació del canvi climàtic per a la producció d'energia final neta (carbó net, renovables i emmagatzemament i segrest de CO₂); línia 2, mobilitat sostenible i transport; línia 3, altres àmbits del canvi climàtic. És en aquesta darrera línia on es concentra la major part de l'activitat del sistema de recerca de Catalunya. Aquesta línia té tres subprogrames: s1) observació sistemàtica del clima i elaboració d'escenaris climàtics en diferents horitzons temporals (20, 50 i 100 anys); s2) adaptació als impactes del canvi climàtic en els sectors econòmics més afectats; s3) mitigació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle relativa a sectors o activitats de caràcter no energètic i potenciació del coneixement dels embornals de carboni.

6. Informació procedent de buidat de dades de l'Observatori de la Recerca de l'IEC.

Centre	Institut/Departament	Total de projectes
CSIC		20 (19%)
	Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB)	6
	Centre d'Investigació i Desenvolupament (CID)	2
	Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA)	5
	Institut de Ciències de l'Espai	1
	Institut de Ciències del Mar (ICM)	5
	Institut d'Investigacions Quím. i Ambientals de Barcelona J. Pascual (IIQAB)	1
UAB		16 (16%)
	ICTA-UAB	3
	CREAF	6
	Dep. de Biologia animal, Biologia vegetal i Ecologia	2
	Dep. de Ciència animal i dels aliments	1
	Dep. de Física	3
	Dep. de Geografia	1
UB		34 (33%)
	Dep. d'Astronomia i meteorologia	12
	Dep. de Biologia animal	2
	Dep. de Biologia vegetal	3
	Dep. d'Ecologia	3
	Dep. d'Estratigrafia i paleontologia i geociències marines	5
	Dep. de Geografia física i anàlisi geogràfica regional	5
	Dep. de geoquímica, petrologia i prospecció geològica	1
	Dep. de Microbiologia i parasitologia sanitàries	1
	Parc Científic de Barcelona	2
UdG		8 (8%)
	Dep. de Dret públic	1
	Institut d'ecologia aquàtica	2
	Institut de medi ambient	2
	Dep. de Ciències ambientals	2
	Dep. d'Economia	1
UdL		7 (7%)
	Dep. de Medi ambient i ciències del sòl	2
	Dep. de Producció vegetal i ciència forestal	2
	Centre Tecnològic i Forestal de Catalunya	3
UPC		7 (7%)
	Dep. d'Enginyeria agroalimentària i biotecnologia	
	Dep. d'Enginyeria del terreny, cartogràfica i geofísica	1
	Dep. de Mecànica de fluids	1
	Dep. de Matemàtica aplicada III	1
	Dep. de Teoria del senyal i comunicacions	1
	Barcelona Supercomputing Center-CNS	2
URV		6 (6%)
	Dep. de Bioquímica i biotecnologia	1
	Dep. de Geografia	5
Altres institucions		4 (4%)
	Institut Cartogràfic de Catalunya	1
	Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries	3
Total		102 (100%)

Taula 3. Nombre de projectes de recerca del «Plan Nacional I+D+I» competitiu en què han participat grups catalans (2000-2008)⁷.

7. S'inclouen, entre d'altres, projectes I+D del programa Nacional de Recursos Naturales (2000-2003) i del Programa Nacional de Biodiversidad, Ciencias de la Tierra y Cambio Global (CGL) – Subprograma de Atmósfera y Cambio Global (CLI) (2004-2008).

	Nombre de projectes i percentatge
I. Processos del clima, observacions i projeccions	33 (32%)
II. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Cicles biogeoquímics: cicle del carboni i cicle del nitrogen	20 (19%)
III. Interaccions del clima amb l'ozó estratosfèric	0 (0%)
IV. Interaccions del clima amb els canvis de la composició atmosfèrica	12 (12%)
V. Impactes del canvi climàtic	19 (19%)
VI. Canvi climàtic i riscos naturals i esdeveniments extrems	10 (10%)
VII. Adaptació, mitigació i política al canvi climàtic	8 (8%)
Total	102 (100%)

Taula 4. Projectes competitius del Plan Nacional I+D+I en què han participat grups catalans classificats segons categories temàtiques (2000-2008).

I. Processos del clima, observacions i projeccions

Dels trenta-tres projectes competitius subvencionats a l'Estat espanyol dins d'aquesta categoria que consten a les bases de dades, 11 —bàsicament a l'ICTA-UAB i a la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona— es dediquen a la paleoclimatologia; set a models numèrics, un dels quals a la Universitat de Girona; un al Parc Científic de Barcelona, i la resta a la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona; sis projectes, repartits entre els departaments de Geografia de la Universitat de Barcelona i de la Universitat Rovira i Virgili, tracten l'anàlisi de característiques climàtiques. Cinc projectes es dediquen a l'anàlisi de la variabilitat climàtica, en diferents contextos, quatre dels quals es reparteixen entre el departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona i el departament de Geografia de la Universitat Rovira i Virgili. Els quatre projectes restants es dediquen als embornals de carboni i a l'anàlisi de processos climàtics.

II. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle
Cicles biogeoquímics: cicle del carboni i cicle del nitrogen; dels vint projectes subvencionats, sis es

dediquen a l'anàlisi específica dels fluxos i acumulacions de carboni repartits entre el Parc Científic de Barcelona, el CTFC i el CREAM. Sis projectes es dediquen a realitzar balanços i anàlisis de fluxos globals de gasos amb efecte d'hivernacle realitzats pel Departament d'Astronomia i Meteorologia de la UB i el CID-CSIC. Als cicles del carboni i del nitrogen es dediquen vuit projectes desenvolupats pel CID-CSIC, l'ICM-CSIC, el Departament d'Ecologia de la UB i l'Institut d'Ecologia Aquàtica de la UdG.

IV. Interaccions del clima amb els canvis de la composició atmosfèrica

Dels dotze projectes, vuit es dediquen a l'estudi dels aerosols, la seva modelització a l'atmosfera (BSC-CNS), la seva caracterització, la mesura de les seves propietats i la seva influència sobre el clima (ICTJA-CSIC), el transport d'aerosols i les seves implicacions (CREAF), i els seus sistemes de mesura (Departament d'Astronomia i Meteorologia de la UB). Tres projectes es dediquen a analitzar intercanvis entre la superfície i l'atmosfera, a l'oceà, (ICM-CSIC), amb l'ús de traçadors, (ICTA-UAB) i caracteritzant l'evapotranspiració (UdL).

V. Impactes del canvi climàtic

Dels dinou projectes, gairebé la meitat (nou) es dediquen a impactes sobre el medi vegetal. En quatre s'analitzen diferents impactes i respostes ecofisiològiques per part del CREAM; en dos projectes els investigadors del Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia de la UAB analitzen la vulnerabilitat d'espècies llenyoses i la biodiversitat de la flora vascular neotropical; l'IRTA estudia l'impacte en la ecofisiologia de la vinya, i el departament de Biologia Vegetal de la UB mesura l'impacte i la capacitat d'adaptació sobre el blat i l'aclimatació fisiològica i la respiració de plantes mediterrànies. En dos projectes del CEAB i l'ICM-CSIC s'estudien impactes en l'Antàrtica, en dos s'estudien impactes sobre comunitats microbianes (ICM-CSIC i Dep. de Microbiologia i parasitologia sanitàries), i en altres projectes s'analitza l'impacte sobre el turisme (Dep. de Geografia física i anàlisi geogràfica regional, UB), sobre els llacs del Pirineu (Dep. d'Ecologia, UB), sobre homínids i deter-

minats gèneres d'aranyes (Dep. de Biologia animal, UB) i sobre els sòls (Dep. de Medi ambient i ciències del sòl, UdL)

VI. Canvi climàtic i riscos naturals i esdeveniments extrems

Dels deu projectes d'aquesta temàtica n'hi ha sis que es dediquen a l'anàlisi de diferents riscos esclavissades (Dep. d'Enginyeria del terreny, cartogràfica i geofísica, UPC), allaus (ICC), pedregades, inundacions i extrems hídrics (Dep. d'Astronomia i meteorologia, UB). En un projecte s'analitzen les possibles relacions dels terratrèmols amb el canvi climàtic (Institut de Ciències de l'espai-CSIC).

VII. Adaptació, mitigació i política al canvi climàtic.

El vuit projectes s'estructuren de la manera següent: cinc al voltant de l'adaptació, dos en agricultura (IRTA), un en processos d'interès per a l'enologia (Dep. de Bioquímica i biotecnologia, URV), un altre en espècies llenyoses (Dep. d'Enginyeria agroalimentària i biotecnologia, UPC) i un altre en espècies mediterrànies (Dep. de Ciències ambientals, UdG) i tres al voltant de la gestió forestal (Dep. d'Economia, UdG), de les zones costaneres (Dep. de Geografia, UAB) i de l'urbanisme (Dep. de Dret públic, UdG)

25.4.3. Convocatòries de la Generalitat de Catalunya: grups de recerca de la Generalitat de Catalunya

En el moment de tancar aquest estudi, la informació disponible es limita a la resolució de la convocatòria del 2005. Malgrat que la convocatòria del 2009 ja es va resoldre, no es disposa de la informació per tal d'actualitzar-la. Això fa que, atesa la dinàmica ràpida de la recerca en canvi climàtic, probablement la imatge dels grups de recerca en canvi climàtic sigui inexacta. La convocatòria incloïa grups de recerca emergents i grups de recerca consolidats. L'anàlisi de la base de dades ha proporcionat els grups següents que dediquen parcialment o total la seva recerca a temes relacionats amb el canvi climàtic. A la descripció de la temàtica dels grups, en aquells que no estan centrats en temes de climatologia, però la inclouen, s'es-

menta el resum que fa referència als temes que són objecte d'aquest estudi.

25.4.3.1. Grups de recerca emergents

ICM-CSIC

Nom del Grup: Grup de Biogeoquímica Marina i Canvi Global 2005SGR 00021

Resum de l'activitat: avaluació de l'impacte de les activitats antròpiques sobre el mar i l'atmosfera mitjançant l'estudi de les interaccions biogeoquímiques.

Àrea temàtica: V.

Parc Científic de Barcelona

Nom del Grup: Laboratori de Recerca del Clima 2005SGR 00046

Resum de l'activitat: modelització de la variabilitat climàtica estacional a interdecadal. Anàlisi d'alta resolució de gasos amb efecte d'hivernacle troposfèrics.

Àrea temàtica: II.

25.4.3.2. Grups de recerca consolidats

CEAB-CSIC

Grup d'Ecologia dels canvis ambientals 2005SGR 00510

Resum de l'activitat: estudi dels aspectes biològics dels canvis ambientals.

Àrea temàtica: V.

CREAF

Grup d'ecofisiologia i efectes ecològics dels canvis ambientals globals 2005SGR 00312

Resum de l'activitat: estudi dels mecanismes ecofisiològics lligats al carboni, l'aigua i els nutrients a les espècies vegetals. Evidenciar l'efecte del canvi global i climàtic sobre l'estructura i el funcionament dels ecosistemes i la biosfera.

Àrea temàtica: V.

Efectes de les pertorbacions en els ecosistemes terrestres 2005SGR 00717

Resum de l'activitat: estructura, biodiversitat i funcionament dels ecosistemes terrestres de Catalunya i de les seves transformacions associades al canvi global.

Àrea temàtica: V.

ICTJA-CSIC

Grup de Reconstrucció Paleoambiental 2005SGR 00200

Resum de l'activitat: reconstrucció dels canvis paleoambientals enregistrats en successions sedimentàries

Àrea temàtica: I.

IRTA

Estrès abiòtic en plantes 2005SGR 00276

Resum de l'activitat: estudi i caracterització dels mecanismes moleculars implicats en la resposta de les plantes a l'estrès abiòtic i biòtic, en especial a la sequera.

Àrea temàtica: VII.

UAB

Grup de Recerca Palinològica i de Cartografia Digital Bio-Geo-Climàtica 2005SGR 00519

Resum de l'activitat: integració d'eines SIG, teledetecció, estadística multivariant i anàlisis espacial aplicada a la relació clima-vegetació del passat, present i tendències futures. Elaboració d'atles climàtics digitals.

Àrea temàtica: V.

Grup d'Estudi de Processos Oceànics i Climàtics 2005SGR 00988

Resum de l'activitat: estudi de processos oceànics que tenen incidència sobre el clima i els cicles biogeoquímics.

Àrea temàtica: II.

UB

Grup de Recerca en Geociències marines 2005SGR 00152

Resum de l'activitat: anàlisi de cicles i fluxos biogeoquímics i les condicions ambientals que els determinen.

Àrea temàtica: II.

Geoquímica de fluids 2005SGR 00383

Resum de l'activitat: estudi de la interacció aigua-roca, en l'anàlisi geoquímica, ambiental i paleoclimàtica de sistemes lacustres. Desenvolupament de models numèrics de predicció del funcionament de sistemes naturals, amb acoblament de models hidrològics i geoquímics.

Àrea temàtica: VII.

Mecanismes de resistència de les plantes mediterrànies a la sequera: funció de les espècies reactives 2005SGR 00408

Resum de l'activitat: estudi dels mecanismes de resistència i supervivència de les plantes enfront del canvi climàtic.

Àrea temàtica: V.

Grup Consolidat de Meteorologia 2005SGR 00552

Resum de l'activitat: estudi de les precipitacions extremes i de les estructures que les produeixen mitjançant eines de teledetecció i de fenòmens singulars de la circulació general, com l'ENSO i les seves teleconnexions.

Àrea temàtica: I.

Grup de Climatologia 2005SGR 01034

Resum de l'activitat: anàlisi de la variabilitat climàtica i del canvi climàtic. Estudi de la pluvimetria de la península ibèrica, riscos climàtics, climatologia sinòptica, climatologia urbana i biometeorologia.

Àrea temàtica: I.

Paisatge i paleoambients a la muntanya mediterrània 2005SGR 01045

Resum de l'activitat: coneixement de l'evolució recent del paisatge de Sierra Nevada i del sud d'Andorra.

Àrea temàtica: I.

UdG

Grup de Física ambiental 2005SGR 00095

Resum de l'activitat: estudi de la dinàmica de fluids ambientals i la seva interacció amb la resta del medi. Radiació i climatologia (efectes dels núvols)

Àrea temàtica: I.

UPC

Grup de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia 2005SGR 00838

Resum de l'activitat: anàlisi científica i tecnològica de les necessitats en el camp de la gestió i de la previsió hidrometeorològica dels processos que controlen el cicle de l'aigua superficial.

Àrea temàtica: VI.

Laboratori d'Enginyeria Marítima 2005SGR 00924

Resum de l'activitat: estudi de la hidrodinàmica costanera i estuària, del clima i de la qualitat del medi ambient marí. Desenvolupament de models numèrics d'hidrodinàmica costanera.

Àrea temàtica: V.

Centre	Departament	Total de grups
CSIC		4
	Instituts	3
	IRTA	1
UAB		4
	Departaments	2
	CREAF	2
UB		7
	Departaments	6
	Parc Científic de Barcelona	1
UdG		1
UPC		2
Total		18

Taula 5. Distribució per centres dels grups de recerca.

	Nombre de grups
I. Processos del clima, observacions i projeccions	5
II. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Cicles biogeoquímics: cicle del carboni i cicle del nitrogen	3
III. Interaccions del clima amb l'ozó estratosfèric	0
IV. Interaccions del clima amb els canvis de la composició atmosfèrica	0
V. Impactes del canvi climàtic	7
VI. Canvi climàtic i riscos naturals i esdeveniments extrems	1
VII. Adaptació, mitigació i política al canvi climàtic	2
Total	18

Taula 6. Grups de recerca a Catalunya (2005). Distribució temàtica.

25.5. Resultats de la recerca

25.5.1. Participació en organitzacions nacionals i internacionals

Climatic Variability and Predictability (CLIVAR)

El principal objectiu de la xarxa temàtica CLIVAR-Espanya és promoure i coordinar la contribució espanyola al programa CLIVAR. Els objectius científics de CLIVAR-Espanya són els mateixos del CLIVAR internacional: descriure i comprendre els processos físics responsables de la variabilitat climàtica a escala estacional, anual, interanual, decadal i secular, mitjançant l'obtenció i anàlisi d'observacions i el desenvolupament i aplicacions de models del sistema climàtic, estendre el registre de variabilitat climàtica a totes les escales d'interès mitjançant la recollida de dades instrumentals i paleoclimàtiques de qualitat verificada, estendre l'abast i la fiabilitat de les prediccions climàtiques a escala estacional i interanual, mitjançant la millora de models de clima global i regional, i comprendre i predir la resposta del sistema climàtic a l'augment de la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle i aerosols i comparar aquestes prediccions amb el registre climàtic observat per detectar qualsevol modificació antropogènica del senyal climàtic natural. Tres persones, dues de la Universitat de Barcelona i una de la Universitat Rovira i Virgili, formen part, actualment, del comitè de coordinació del CLIVAR espanyol, format per dotze persones

European Physical Society-Environmental Physics Division

Associació de físics europeus que reuneix també associacions nacionals de física. Té per objectiu promoure l'organització d'activitats científiques adreçades a la comunitat de físics europeus, així com publicar algunes revistes especialitzades. Actualment un professor de la UAB forma part del comitè de la Divisió de medi ambient, en el qual estan inclosos els temes que fan referència a la física del canvi climàtic

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Des de l'any 2000 s'han publicat dos informes globals d'aquest organisme format per experts de

tot el món en les diferents vessants del canvi climàtic. La participació de científics catalans com a contribuents o com a revisors dels esborranys elaborats per aquest grup ha augmentat considerablement des de l'informe corresponent a l'any 2001 (3th Assessment Report, TAR) fins el darrer informe (4th Assessment Report, AR4) corresponent a l'any 2007.

A l'informe corresponent a l'any 2001, al volum 1 *The Physical Science basis*, dels 15 revisors de l'estat espanyol, un era de Catalunya, de la UAB. Dels coautors de materials inclosos en aquest mateix volum, n'hi havia dos d'espanyols, un dels quals era una professora de la Universitat Rovira i Virgili. En el volum 2 *Impacts, Adaptation and Vulnerability* hi havia cinc revisors catalans d'un total d'onze de l'estat espanyol, que provenen un de la UPC, un de la UB, un del CREA i dos de l'Institut Jaume Almera del CSIC. Entre la relació d'autors no n'hi figurava cap de català ni d'espanyol. En el volum 3, *Mitigation*, no hi havia cap revisor ni autor català d'alguna part dels continguts.

A l'informe corresponent a l'any 2007, al volum 1, *The Physical Science basis*, hi ha tres coautors espanyols dels quals no n'hi ha cap de procedent de centres de recerca de Catalunya. Dels 11 revisors de l'estat espanyol, sis treballen en centres de recerca de Catalunya, dos a l'Institut de Ciències del Mar del CSIC, dos a la Universitat de Barcelona, i dos a la Universitat Rovira i Virgili. En el volum 2, *Impacts, Adaptation and Vulnerability*, hi ha quatre revisors de centres de recerca amb seu al Principat d'un total de dinou de l'estat espanyol, que provenen dos de la Universitat de Barcelona, una professora de la Universitat de Girona i un investigador del CREA. En la relació d'autors hi figura un investigador de la Universitat de Barcelona d'un total de quatre coautors espanyols. En el volum 3, *Mitigation*, no hi ha cap coautor ni autor d'alguna part dels continguts que treballi en centres de recerca de Catalunya; un professor de la Universitat de Barcelona és un dels onze revisors espanyols.

International Geosphere Biosphere Programme (IGBP)

Aquest programa de recerca té per objectiu estudiar el fenomen del canvi global proporcionant

coneixement científic per millorar la sostenibilitat de la Terra. Els estudis promoguts per l'IGBP analitzen les interaccions entre els processos biològics, químics i físics i les relacions amb els sistemes humans. L'IGBP té un comitè internacional que es coordina amb comitès nacionals. El comitè espanyol està format per onze membres, tres dels quals treballen a institucions del nostre país (un a la UdG i dos a l'ICM-CSIC).

International Human Dimensions Program (IHDP)

L'IHDP és un programa científic, internacional i interdisciplinari, dedicat a promoure, catalitzar i coordinar la investigació sobre les dimensions humanes del canvi ambiental, analitzar-les des d'una perspectiva de les ciències socials. La seva missió és generar coneixement científic sobre els sistemes humans i ambientals aconseguint una aproximació útil per tal de millorar el desenvolupament sostenible i conduir les forces antropogèniques del canvi. En aquest programa el canvi climàtic hi té un paper fonamental. S'estructura, com altres programes, en un comitè internacional i comitès nacionals. Dels set membres del comitè espanyol hi ha un científic de l'ICTA-UAB.

World Climate Research Programme (WCRP)

El programa WCRP té l'objectiu de determinar la predictabilitat del clima i determinar els efectes de les activitats humanes sobre el clima integrant noves observacions, les instal·lacions científiques més actives i el coneixement expert. Està relacionat amb la UNESCO, l'Organització Meteorològica Mundial (WMO) i el Consell Internacional per la Ciència (ICSU). Té un comitè científic internacional i diversos comitès nacionals on hi ha dos representants de centres de investigació catalans (ICTJA-CSIC i UB).

Associació Espanyola de Climatologia

Aquesta associació es va constituir amb l'objectiu de fomentar, facilitar i difondre els treballs d'investigació sobre climatologia, organitzant reunions, editant publicacions i promovent l'ensenyament de la climatologia a tot l'estat espanyol. Durant el període d'anàlisi d'aquest

treball un professor de la Universitat de Barcelona va ser president de l'Associació i, actualment, una professora de la Universitat Rovira i Virgili és vocal de la junta

Comité Español de Investigación en Cambio Ambiental Global

El Comité Español de Investigación en Cambio Global (ceiCAG) es proposa la mobilització de

la comunitat científica espanyola per fer front al desafiament del canvi global des d'un punt de vista multidisciplinar. L'objectiu del programa és identificar l'esforç científic que es du a terme a Espanya i facilitar la participació de la comunitat científica espanyola als diversos programes internacionals d'investigació sobre canvi global. Al comitè científic, format per vuit persones, hi ha una investigadora de l'ICM-CSIC.

Centre	Institut/Departament	Total de projectes
UAB		3 (6,5%)
	Dept. de Biologia animal, biologia vegetal i ecologia	2
	Dept. de Dret públic i de ciències històrico-jurídiques	1
UB		26 (57%)
	Dept. d'Astronomia i meteorologia	5
	Dept. de Biologia animal	2
	Dept. de Biologia vegetal	2
	Dept. de Dret mercantil, dret del treball i de la seguretat social	1
	Dept. d'Ecologia	3
	Dept. d'Estratigrafia i paleontologia i geociències marines	4
	Dept. de Genètica	1
	Dept. de Geodinàmica i geofísica	1
	Dept. de Geografia física i anàlisi geogràfica regional	4
	Dept. de Geoquímica, petrologia i prospecció geològica	2
	Dept. de Química analítica	1
UdG		1 (2%)
	Dept. d'Enginyeria química, agrària i tecnologia agroalimentària	1
UdL		4 (8%)
	Dept. d'Administració d'empreses i gestió econòmica dels recursos naturals	1
	Dept. de Medi ambient i ciències del sòl	2
	Dept. de producció vegetal i ciència forestal	1
UPC		10 (22%)
	Dept. d'Enginyeria hidràulica, marítima i ambiental	6
	Dept. de Projectes d'enginyeria	2
	Dept. d'Arquitectura de computadors	1
	Dept. de Construccions arquitectòniques	1
URV		2 (4%)
	Dept. de Geografia	2
Total		46 (100%)

Taula 7. Tesis presentades durant el període 2000-2007. Cal tenir present que aquestes dades inclouen tesis realitzades a instituts de recerca del CSIC o el CREAL, i que per presentar-les cal que es vehiculin a través d'un departament universitari.

Grup d'experts en canvi climàtic a Catalunya (GECCC)

Aquest grup, format sota l'aixopluc del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya i de l'Institut d'Estudis Catalans, essencialment ha elaborat els informes sobre el canvi climàtic a Catalunya i ha organitzat de forma discontinua algunes jornades tècniques sobre temes concrets de canvi climàtic. No és un grup de recerca pròpiament dit, sinó que reuneix de manera totalment informal aquelles persones que estan treballant en canvi climàtic a Catalunya. Actualment està format per poc més d'un centenar de persones.

Com es desprèn d'aquesta informació, que no és completa, i en la qual és difícil trobar un criteri clar de classificació atesa la complicada xarxa d'organitzacions i d'iniciatives per coordinar-les a escala internacional, la participació de científics que treballen en centres de recerca de Catalunya ha anat augmentant en els darrers anys. A començament dels anys 2000 era testimonial, mentre que ara en algunes àrees, especialment les corresponents a la climatologia clàssica, ha anat creixent i està força consolidada. En termes

generals, la representació catalana en organismes de gestió i coordinació de la recerca en canvi climàtic es basa sobretot en experts corresponents a les àrees I i V de la classificació usada en aquest informe.

25.5.2. Tesis llegendes (2000-2007)

Malgrat que no hi ha un programa de doctorat específic en canvi climàtic, els diferents grups de recerca que treballen sobre el tema han proposat i dirigit, durant el període 2000-2007, 42 tesis doctorals que es poden classificar com relacionades amb el canvi climàtic. Cal destacar que més de la meitat de les tesis han estat realitzades a la Universitat de Barcelona, i una quarta part a la Universitat Politècnica de Catalunya. A continuació es fa una relació dels departaments que han acollit els treballs i els doctorands.

Cal destacar que a la distribució de tesis llegendes apareixen departaments que no han aparegut a l'hora de participar en projectes subvencionats europeus o nacionals. Probablement aquests efectes es deu, per una banda, al fet que hi ha departaments que actuen de manera instrumental per tal d'acollir administrativament tesis elaborades en instituts de recerca, especialment els del CSIC. Això es dona especialment a la UPC. D'altra banda també hi ha un altre conjunt de treballs de tesi que són instrumentals pel que fa a la captura i l'anàlisi de dades relacionades amb el canvi climàtic. Aquest caràcter instrumental fa que els responsables de demanar projectes ho facin per a altres àrees que no pas aquella on una determinada tecnologia o tècnica s'aplica.

25.5.3. Articles publicats a revistes incloses al SCI⁸ (2000-2008)

Fent una cerca per paraules clau dels articles que es publiquen a tot el món en revistes SCI, s'ha calculat el percentatge dels articles sobre canvi climàtic en què participen científics que treballen en centres de recerca de Catalunya respecte el total d'articles publicats a tot el món d'aquesta temàtica. Aquest percentatge mostra un valor ascendent durant tot el període d'anàlisi.

Després de la cerca del nombre total d'articles que segons les paraules clau s'atribueixen a

	Nombre de tesis i percentatges
I. Processos del clima, observacions i projeccions	16 (35%)
II. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Cicles biogeoquímics: cicle del carboni i cicle del nitrogen	5 (11%)
III. Interaccions del clima amb l'ozó estratosfèric	0
IV. Interaccions del clima amb els canvis de la composició atmosfèrica	4 (9%)
V. Impactes del canvi climàtic	12 (26%)
VI. Canvi climàtic i riscos naturals i esdeveniments extrems	3 (6,5%)
VII. Adaptació, mitigació i política al canvi climàtic	6 (13%)
Total	46 (100%)

Taula 8. Tesis llegendes a les universitats catalanes (2000-2007). Distribució temàtica.

8. SCI: Science Citation Index.

Any	ESPANYA	CATALUNYA	
	Percentatge al món	Percentatge a Espanya	Percentatge al món
2000	3,16%	21,71%	0,69%
2001	3,39%	24,42%	0,83%
2002	3,82%	22,39%	0,86%
2003	3,30%	23,21%	0,77%
2004	3,55%	25,29%	0,90%
2005	3,85%	21,51%	0,83%
2006	4,11%	24,11%	0,99%
2007	4,22%	24,19%	1,02%
2008	4,28%	25,12%	1,08%

Taula 9. Percentatge d'articles sobre canvi climàtic publicats arreu del món procedents de centres de recerca de Catalunya.

temes de canvi climàtic, s'ha procedit a discriminar exactament el nombre d'articles que segons el títol corresponien a l'àrea d'estudi. Dels 2.315 articles aportats automàticament de la base de dades, l'anàlisi individualitzada ha portat a seleccionar-ne 712, un 30,7%. La classificació que es fa a continuació ha usat aquesta darrera base de càlcul.

D'aquesta classificació es pot veure que el nombre d'articles en les diferents àrees temàtiques guarda la mateixa proporció, aproximadament, que d'altres compilacions de dades corresponents a projectes o a tesis. Aquest percentatge augmenta considerablement per a l'àrea V, *Impactes del canvi*

climàtic, indicant una major productivitat en aquest temàtica que en altres àmbits, comparada amb el nombre de projectes.

El nombre d'articles sobre canvi climàtic ha augmentat regularment des de l'inici del període analitzat, amb una davallada atribuïble probablement al sistema com es compten els articles a la base de dades durant l'any 2003. L'augment del nombre de publicacions científiques es deu a dos factors: per un costat ha augmentat el nombre de revistes on es publiquen articles relacionats amb el canvi climàtic i, també, el nombre de persones que fan recerca en aquests temes.

	Nombre d'articles i percentatge
I. Processos del clima, observacions i projeccions	229 (32%)
II. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Cicles biogeoquímics: cicle del carboni i cicle del nitrogen	72 (10%)
III. Interaccions del clima amb l'ozó estratosfèric	0
IV. Interaccions del clima amb els canvis de la composició atmosfèrica	29 (4%)
V. Impactes del canvi climàtic	304 (43%)
VI. Canvi climàtic i riscos naturals i esdeveniments extrems	32 (5%)
VII. Adaptació, mitigació i política al canvi climàtic	46 (6%)
Total	712 (100%)

Taula 10. Articles sobre canvi climàtic distribuïts per àrees temàtiques.

Any	Nombre d'articles
2000	40
2001	44
2002	71
2003	56
2004	88
2005	76
2006	93
2007	110
2008	134
Total	712

Taula 11. Articles per anys en el període 2000-2008

De l'anàlisi d'aquestes dades s'extreu que el 54% dels articles publicats ho ha estat en revistes que acumulen, durant el període estudiat, més de cinc publicacions d'autors catalans. La resta, el 46%, s'ha publicat en revistes que concentren menys de cinc articles. D'entre aquesta selecció de revistes, un 12,6% s'ha publicat en

Revista	Total d'articles
Acta Oecologica-International Journal of Ecology	5
Agricultural and Forest Meteorology	5
Atmospheric Environment	12
Biogeochemistry	6
Biologia Plantarum	5
Chemosphere	8
Climate Dynamics	5
Climatic Change	7
Deep-Sea Research (part I and II)	6
Earth and Planetary Science Letters	10
Ecological Modelling	7
Ecology	5
Ecosystems	8
Energy Policy	5
Environmental and Experimental Botany	6
Estuarine Coastal and Shelf Science	5
European Journal of Agronomy	5
Geology	7
Geophysical Research Letters	12
Global Biogeochemical Cycles	9
Global Change Biology	31
Holocene	5
Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques	5
Hydrology and Earth System Sciences	5
international journal of Climatology	10
International Journal of Remote Sensing	5
Journal of Climate	6
Journal of Geophysical Research-Atmospheres	16
Journal of Horticultural Science & Biotechnology	5
Journal of Marine Systems	7
Journal of Paleolimnology	10
Journal of Vegetation Science	8
Natural Hazards and Earth System Sciences	6
Nature	5
Oecologia	7
Organic Geochemistry	6
Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology	11
Pleocanography	13
Physiologia Plantarum	9
Plant and Soil	5
Plant Ecology	7
Quaternary Science Reviews	10
Science	9
Science of the Total Environment	6
Sedimentary Geology	5
Soil Biology & Biochemistry	8
Tellus	6
Theoretical and Applied Climatology	7
Tree Physiology	11
Total	382

Taula 12. Revistes amb més de cinc articles relacionats amb el canvi climàtic publicats per autors de centres de recerca de Catalunya.

revistes d'alt índex d'impacte i generals, com *Nature*, *Science* o *Geophysical Research Letters*, revistes que tenen un espectre de temàtica ampli i uns graus de lectura força grans i, per tant, un índex d'impacte alt. Destaca també que un 12,7% dels articles apareix en revistes especialitzades de paleoclimatologia, certificant la bona dinàmica de publicacions de la comunitat de paleoclimatòlegs a Catalunya; un 34,6% correspon a publicacions d'ecologia i botànica, i un 20% es van publicar en revistes especialitzades de meteorologia i climatologia física. La resta es reparteix en temes de cicles biogeoquímics (7,6%), temes marins (4,7%), geologia (5,7%) i de riscos (2%). L'anàlisi d'aquestes dades mostra que la gran dispersió temàtica implica, lògicament, una gran dispersió en les revistes en les quals es publica, i aquest fet dificulta dur a terme una anàlisi bibliomètrica més precisa. És destacable el percentatge de publicacions en les revistes d'ampli espectre temàtic, la qual cosa mostra que hi ha investigadors en canvi climàtic que són competitius en revistes d'alta difusió.

25.6. Conclusions

- En termes generals, l'estructura científica que dóna suport a la recerca en canvi climàtic encara és fràgil. La major part d'investigadors està en departaments i centres en els quals la recerca sobre els temes de canvi climàtic no és estratègica, i disciplinàriament estan centrats en àrees de coneixement clàssiques. Per aquest mateix motiu també s'observa una certa atomització en la distribució dels investigadors en centres de mides diferents i l'objectiu dels quals no està centrat en el canvi climàtic. La creació recent de l'IC³ no sembla, aparentment fins ara, haver ajudat en aquest aspecte al sistema de recerca català en canvi climàtic.
- Malgrat que és difícil donar una xifra exacta, creiem que actualment hi ha unes cinc-centes persones fent recerca sobre canvi climàtic a Catalunya. Hi ha centres de recerca especialment actius si s'avaluen globalment, com el CREAM, en els efectes del canvi climàtic sobre els sistemes terrestres; l'ICM-CSIC pel que al paper del mar en el canvi climàtic, tant com a sistema físic com a eco-

sistemes marins, i l'ICTA-UAB en paleoclimatologia. Pel que fa als departaments universitaris, és a la Universitat de Barcelona on trobem els més actius en temes de recerca sobre canvi climàtic.

- Més del cinquanta per cent dels projectes competitius on participen investigadors catalans corresponen a l'anàlisi de les observacions dels canvis del clima, a l'estudi de les emissions i dels cicles biogeoquímics. Un 20% dels projectes es dedica a estudis paleoclimatològics, on la comunitat científica a Catalunya recentment s'ha incrementat fortament en recursos humans i en capacitat d'aconseguir projectes.
- Durant els darrers anys ha augmentat notablement el nombre de projectes competitius dedicats a l'estudi dels impactes del canvi climàtic i a l'anàlisi de la seva relació amb els riscos naturals. La meitat dels projectes dedicats a estudiar els impactes del canvi climàtic tracten dels impactes sobre el medi vegetal. Això és conseqüència del fet que Catalunya disposa de dos centres, el CREAM i l'IRTA, molt potents i competitius en aquest àmbit.
- Des de l'any 2000 es van elaborar i s'han defensat 46 tesis doctorals en les quals el canvi climàtic és un tema central
- La producció científica en forma de publicacions en revistes SCI en temes de canvi climàtic s'ha multiplicat per 3,5 des de l'any 2000. L'any 2008 es van publicar 134 articles. El 46% dels articles s'ha publicat en revistes que durant el període analitzat, 2000-2008, han inclòs menys de cinc articles d'autors catalans. Això és una mostra de la gran dispersió temàtica dels articles publicats
- Es dedica molt poca atenció als estudis d'adaptació i mitigació i a l'anàlisi de polítiques de canvi climàtic.

Annex

Aquest estudi s'ha realitzat a partir de les dades de projectes, grups de recerca i publicacions proporcionades per l'Observatori de la Recerca de l'Institut d'Estudis Catalans entre els anys 2000 i 2008 generades com a conseqüència de les cerques amb paraules clau que s'inclouen a continuació. Les dades «en brut» han estat processades i analitzades per l'autor d'aquest treball.

Paraules clau per a la recerca d'articles i projectes (s'ha utilitzat el llistat en català, castellà i anglès)

Aerosols

Agricultura i canvi climàtic

Antàrtica

Ascens del nivell del mar

Balanços de carboni

Canvi climàtic

Canvis climàtics ràpids

Canvis en la temperatura

Canvis en la precipitació

Canvis fenològics

Captura i emmagatzematge de carboni⁹

Climatologia

CH₄

CO₂

Combustibles fòssils

Constant solar

Corrent termohalí

Crosta de gel

Diòxid de carboni

Earth System Models

El Niño

Emissions a l'atmosfera

Embornals

Energia i canvi climàtic

Enginyeria climàtica

Episodis meteorològics extrems

Erosió de la costa

Escalfament de l'atmosfera

Escalfament global

Escenaris climàtics

EPICA¹⁰

Episodis Dansgaard-Oeschger

Extrems hídrics

Extrems tèrmics

Forçament radiatiu

Fusió del gel

Gasos amb efecte d'hivernacle

Glaceres

GRIP¹¹

Huracans

Illa de calor urbana

Impactes canvi climàtic

IPCC¹²

Metà

Mobilitat i canvi climàtic

Models climàtics

Onades de calor

Oscil·lacions climàtiques

Oscil·lació de l'Atlàntic Nord¹³

Paleoclimatologia

Prediccions climàtiques

Protocol de Kyoto

*Proxy*¹⁴

Qualitat de l'aire

Regionalització de models climàtics¹⁵

Retroaccions climàtiques

Salut i canvi climàtic

Secades

Sèries climàtiques

Tempestes de llevant

Teleconnexions climàtiques

Testimonis de gel

UNFCCC¹⁶

Variabilitat climàtica

Variabilitat de baixa freqüència

Vostok¹⁷

*Younger Dryas*¹⁸

9. En anglès, CCS.

10. Projecte europeu d'extracció de testimonis de gel.

11. En anglès, *Greenland Ice Core Project*.

12. Sigla en anglès de Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

13. En anglès, NAO.

14. Dades indirectes.

15. En anglès, *Downscaling*.

16. Acrònim en anglès de *United Nations Convention on Climate Change*.

17. Base antàrtica russa on s'extreuen testimonis de gel.

18. Episodi climàtic que es produeix al final de la darrera glaciació.

Acrònims usats en el treball

BSC-CNS	<i>Barcelona Supercomputing Center</i> – Centro Nacional de Supercomputación
CREAF	Centre de Recerca en Ecologia i Aplicacions Forestals
CID-CSIC	Centre d'Investigació i Desenvolupament – Consell Superior d'Investigacions Científiques
CTFC	Centre Tecnològic Forestal de Catalunya
ICC	Institut Cartogràfic de Catalunya
ICM-CSIC	Institut de Ciències del Mar – Consell Superior d'Investigacions Científiques
ICTA-UAB	Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals
ICTJA-CSIC	Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera
IEC	Institut d'Estudis Catalans
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IRTA	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
UB	Universitat de Barcelona
UdG	Universitat de Girona
UdL	Universitat de Lleida
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya
URV	Universitat Rovira i Virgili