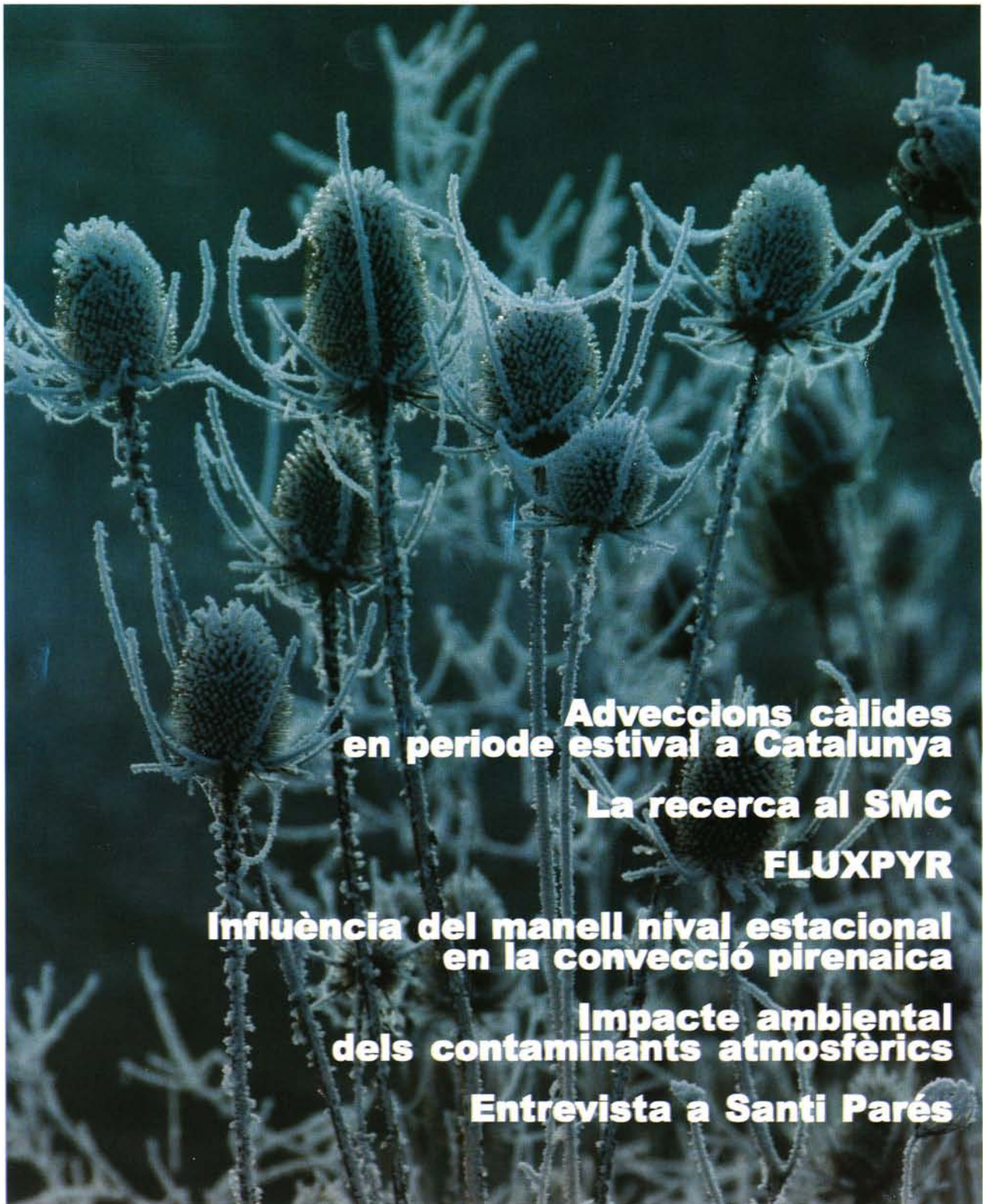


# Penells

NÚMERO 30. Etapa II

4<sup>rt</sup> trimestre de 2010

REVISTA DE METEOROLOGIA, CLIMATOLOGIA I MEDI AMBIENT



**Adveccions càlides  
en període estival a Catalunya**

**La recerca al SMC**

**FLUXPYR**

**Influència del manell nival estacional  
en la convecció pirenaica**

**Impacte ambiental  
dels contaminants atmosfèrics**

**Entrevista a Santi Parés**



# FLUXPYR

## Xarxa transfronterera per l'estudi dels canvis climàtic i d'ús del sòl als Pirineus

Fabrice Gouriveau<sup>1</sup>, Maria Teresa Sebastià<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratori d'Ecologia Funcional i Canvi Global (ECOFUN, <http://ecofun.ctfc.cat>), Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC), ([fabrice.gouriveau@ctfc.cat](mailto:fabrice.gouriveau@ctfc.cat)); <sup>2</sup>LaborEscola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida

### Resum

FLUXPYR ([www.fluxpyr.eu](http://www.fluxpyr.eu)) és una xarxa transfronterera per a la determinació i la gestió dels fluxos i reserves d'aigua, carboni i energia en els ecosistemes agrícoles i pastorals dels Pirineus, en un context de canvi climàtic i canvis en l'ús del sòl. Involucra a més de 50 investigadors multidisciplinaris d'Espanya, França i Andorra, i es basa sobre tres components relacionats: la investigació, la transferència i la formació. Combina tècniques per a medició de fluxos, tècniques de teledetecció i la modelització per a estudiar els patrons i processos ecosistèmics a diferents escales i per separar els efectes del clima i canvis en l'ús del sòl sobre els ecosistemes i paisatges pirinencs. Contribueix al desenvolupament de tecnologies i protocols innovadors i a l'elaboració de mapes predictius de la cobertura del sòl, contingut d'aigua i distribució del carboni al sòl, cobertura de neu, etc. Relaciona ciència i política, informant polítics i d'altres parts involucrades, i ajuda al disseny de guies per a la gestió sostenible de les pastures i dels agroeco-sistemes, i per al desenvolupament d'estratègies d'adaptació i mitigació adients. A més, sensibiliza a la societat sobre les causes i conseqüències dels canvis globals i les maneres d'enfrontar-los. El seu èxit i la seva continuïtat dependran de la seva capacitat per generar productes científics d'alta qualitat, per a traduir aquests productes en elements útils per a la societat i la gestió del medi ambient, i per a connectar-se amb d'altres xarxes i actors que ja treballen sobre el tema del canvi climàtic a Europa.

### Context

Les conseqüències dels canvis globals, incloent per exemple els canvis climàtics i canvis en la

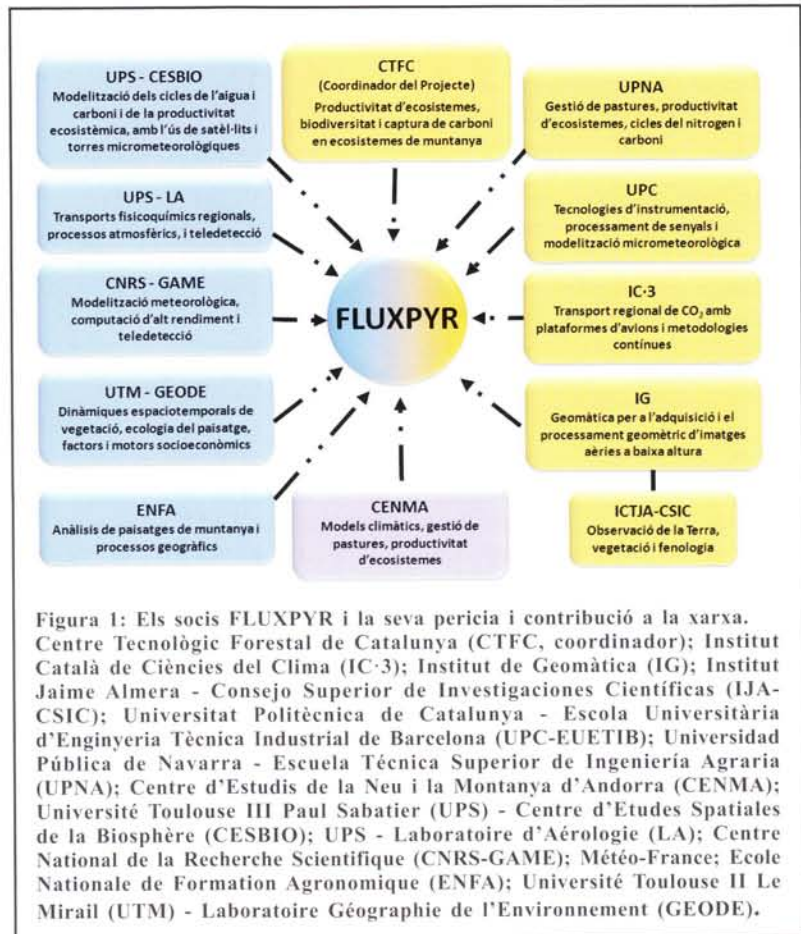


Figura 1: Els socis FLUXPYR i la seva pericia i contribució a la xarxa. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC, coordinador); Institut Català de Ciències del Clima (IC-3); Institut de Geomàtica (IG); Institut Jaime Almera - Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IA-CSIC); Universitat Politècnica de Catalunya - Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona (UPC-EUETIB); Universidad Pública de Navarra - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria (UPNA); Centre d'Estudis de la Neu i la Montanya d'Andorra (CENMA); Université Toulouse III Paul Sabatier (UPS) - Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (CESBIO); UPS - Laboratoire d'Aérodynamique (LA); Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS-GAME); Météo-France; Ecole Nationale de Formation Agronomique (ENFA); Université Toulouse II Le Mirail (UTM) - Laboratoire Géographie de l'Environnement (GEODE).

utilització del sòl, representen una preocupació real per a les nostres societats. Des del 1950, les concentracions atmosfèriques dels gasos d'efecte hivernacle han pujat de manera notable, de 280 ppm a més de 380 ppm pel CO<sub>2</sub>, i de 288 a 319 ppb pel N<sub>2</sub>O per exemple (IPCC, 2007). Els estudis científics confirmen l'origen antropogènic d'aquests increments, deguts principalment al consum d'energia fòssil i a alguns canvis en l'ús del sòl, tal com la desforestació, i adverteixen que els impactes seran més perjudicials que benèfics (IPCC, 2007).

Els canvis climàtics i en l'ús del sòl influeixen de manera dràstica

les dinàmiques, funcions i productivitat dels ecosistemes, els cicles biogeoquímics i els paisatges. Es tradueixen per canvis en la freqüència, intensitat i durada dels esdeveniments climàtics extrems, canvis en patrons de precipitació i sequeres, augment del nivell del mar, reducció de l'àrea coberta per les glaceres, etc. Això contribueix a la pèrdua o al desplaçament d'espècies animals i vegetals, canvis en la seva fenologia, i generalment, a una alteració dels bens i serveis que els ecosistemes proveeixen a les societats humanes tal com els aliments, l'aigua potable i la biodiversitat (Walker and Steffen, 1996; IPCC, 2007).



Les muntanyes i els seus habitants són particularment sensibles a aquests canvis i són els primers impactats (Beniston, 1994 i 2003; IPCC, 2007). A més d'impactes ecològics i hidrològics, aquests canvis tenen repercussions socioeconòmiques importants tal com la disminució de la productivitat agrícola i de la disponibilitat d'aigua a l'estiu, els impactes sobre l'activitat turística i la davallada del potencial hidroelèctric (MEA, 2005; IPCC, 2007). Concretament, als Pirineus es va registrar un escalfament de 1,1 °C des del any 1900, una migració de les espècies vegetals d'uns 3 m cada any entre el 1971 i el 1993, una anticipació de les veremes d'uns 15 dies en la zona de Banyuls (Pirineus orientals), una disminució del nombre de dies de neu entre el 1971 i el 2008 (DDE 09, 2008) i una reducció de la superfície de glaceres des del 1850, del 85% al costat francès i del 65% a l'espanyol (ARPE, 2009).

Cal intensificar els estudis dels ecosistemes pirinencs per tal de millorar el coneixement sobre les seves dinàmiques i avaluar les conseqüències del canvi climàtic. Això representa un pas important per al desenvolupament d'estratègies d'adaptació i mitigació rellevants per a les nostres societats (Cox *et al.*, 2000; Canadell *et al.*, 2007). A més, la complexitat dels canvis climàtics i humans estem patint i de les seves conseqüències són tan importants que es requereixen sense dubte accions conjuntes i estudis pluri- i trans-disciplinaris a diferents escales espacials i temporals.

Gràcies al suport de la Unió Europea a través del programa Interreg IV-A - Poctefa, de la Generalitat de Catalunya i de la Regió Midi-Pyrénées, va néixer, l'any 2009, el projecte de xarxa transfronterera FLUXPYR. El principal objectiu d'aquest article és presentar FLUXPYR amb tota mena de detalls, la seva organització i els seus objectius, la metodologia utilitzada en el seu treball, algunes de les seves aplicacions i repercussions concretes.

## 1. Presentació del Projecte FLUXPYR

FLUXPYR és una xarxa transfronterera d'instruments i experts que contribueixen a la determinació i la gestió dels fluxos i reserves d'aigua, carboni i energia en els ecosistemes agrícoles i pastorals dels Pirineus. Hi col·laboren una quinzena d'institucions d'Espanya, França i Andorra, amb més de 50 investigadors multidisciplinaris, dels camps de la física, química, agronomia, ecologia, història, geografia, etc. Els participants i la seva contribució estan representats a la figura 1.

La posada en xarxa, a través de FLUXPYR, d'institucions científiques i educatives reconegudes representa una força necessària per a la instrumentalització de les estacions de recerca, transmissió de dades, coneixements i experiències entre institucions, la formació de personal, etc. Assegura també l'enllaç i el flux d'informació entre investigadors, actors locals, polítics i la societat en general, facilitant la transposició de descobriments científics en aplicacions ambientals i socioeconòmiques de gran rellevància, i el desenvolupament d'estratègies d'adaptació i mitigació sostenibles.

Els principals objectius de FLUXPYR són:

- 1) Desenvolupar una xarxa d'experts i infraestructures per a determinar i gestionar els fluxos d'aigua, carboni i energia en ecosistemes agrícoles i pastorals dels Pirineus, al llarg de gradients altitudinals i climàtics.
- 2) Combinar i integrar mesures de fluxos, dades meteorològiques, teledetecció i modelització per a avaluar els impactes dels canvis climàtics i d'ús del sòl sobre els agroecosistemes i paisatges, entendre millor els processos responsables d'aquests impactes i les retroaccions entre el sòl i l'atmosfera.
- 3) Produir tecnologies i protocols innovadors, bases de dades, models i mapes predictius de

la cobertura del sòl, productivitat ecosistèmica, distribució del carboni, cobertura de neu i riscs d'allaus, etc.

4) Intercanviar coneixements, eines i experiència a nivell regional i internacional, i contribuir a la formació d'estudiants i investigadors.

5) Enfortir l'enllaç entre ciència, política i desenvolupament socioeconòmic, per a proposar estratègies de mitigació i d'adaptació específiques, i orientar els actors locals per a la gestió sostenible dels recursos naturals.

6) Conscienciar els ciutadans sobre les causes i conseqüències dels canvis globals, i sobre les maneres d'enfrontar-los.

## 2. Metodologia, activitats i aplicacions

### Zona d'estudi

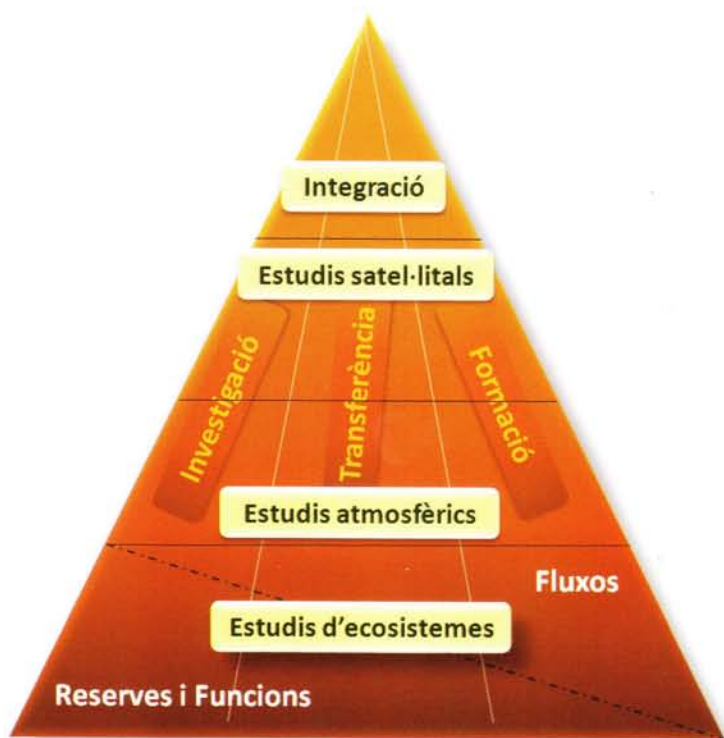
Els estudis es desenvolupen dels dos costats dels Pirineus (entre 41° N i 44° N latitud, 1° E i 2° W longitud), però majoritàriament en la zona central i oriental del massís, entre Toulouse i Barcelona, a les Regions de Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon, Catalunya, Navarra i al Principat d'Andorra.

### Activitats de FLUXPYR

FLUXPYR integra activitats de recerca, transferència i formació per assolir els seus objectius. Combina estudis ecosistèmics, atmosfèrics i satel·litals, i exercicis de modelització per a caracteritzar i interpretar les dinàmiques espaciotemporals dels fluxos de carboni, aigua i energia i els canvis en els ecosistemes a diferents escales, p.e. des de l'escala local (p.e. una parcel·la) a l'escala regional (Figura 2).

Les activitats de la xarxa estan organitzades en cinc grups de treball (WG), WG3a, 3b, 4a, 4b i 5. El WG3a, «Funcions i reserves ecosistèmiques», investiga la productivitat de les pastures i cultius, la biodiversitat dels ecosistemes, les característiques del sòl i els





**Figura 2: Marc conceptual FLUXPYR – integració d’estudis ecosistèmics, atmosfèrics i satel·litals amb activitats de transferència i formació**

processos que controlen els cicles biogeoquímics. El WG3b, «Fluxos ecosistèmics», assegura la instrumentació d’estacions micrometeorològiques i hidrològiques en pastures i cultius, a diferents altituds, per avaluar els fluxos de carboni, aigua i energia entre el terra i l’atmosfera, i els canvis en l’albedo de la terra. Entre d’altres tècniques, s’utilitza la tècnica de fluxos turbulents (*eddy covariance*) o es prenen mostres d’aire amb flascons pressuritzats. Com a resultat, es calculen balanços de gasos d’efecte hivernacle (p.e. per a identificar fonts i embornals de carboni) a escala local i regional. El WG4a, «Estudis atmosfèrics», estudia els fluxos i transports de carboni, aigua i energia a nivell regional, mitjançant l’utilització d’avions equipats per prendre mostres d’aire al llarg de transectes (entre 300 m i 7500 m d’alçada) o amb l’ajuda de models. El WG4b, «Estudis d’imatges aèries i satel·litals», s’encarrega de la recollida i de l’anàlisi d’imatges dels Pirineus obtingudes per teledetecció (amb satèl·lits o avions), per al seguiment de la vegetació i de la cobertura de neu o l’estimació de l’albedo. Desenvolupa també models meteorològics, tal com SAFRAN i CROCUS, a

partir de les dades de la xarxa sinòptica i climàtica de Météo-France, i de les dades de la xarxa nivometeorològica i de les estacions automàtiques d’altitud nivòse. Finalment, el WG5, «Disseminació», assegura la comunicació sobre el projecte, difusió dels resultats, organització de tallers i conferències, traduccions dels documents, etc.



A més, impulsa la creació d’un agenda dels actors socioeconòmics i institucionals interessats pel canvi climàtic i de les formacions acadèmiques relacionades amb aquest tema.

A nivell ecosistèmic, s’utilitzen estacions micrometeorològiques (Figura 3) i hidrològiques o torres altes (Figura 4), equipades amb sensors que mesuren de manera contínua diverses variables meteorològiques i ambientals (p.e. pluviometria, velocitat i direcció del vent, temperatura i humitat de l’aire, radiacions, concentracions de gasos, etc.). A més, es realitzen seguiments a nivell local, per a avaluar les emissions de gasos d’efecte hivernacle (Figura 5), la composició del aire, el contingut en carboni del terra, la productivitat i biodiversitat, etc.

Alguns productes obtinguts d’aquestes mesures inclouen el seguiment de l’intercanvi ecosistèmic net de gasos d’efecte hivernacle com el CO<sub>2</sub> relacionat amb activitats agrícoles (Figura 6), de l’evolució de la concentració de l’aire en CO<sub>2</sub> (Figura 7), avaluació de la productivitat primària bruta,

**Figures 3 i 4: A baix, torre micrometeorològica FLUXPYR a Catalunya per a la medició en continu dels fluxos de carboni, aigua i energia entre el sòl i l’atmosfera, en una parcel·la agrícola: l’anemòmetre, analitza-dor infraroig de CO<sub>2</sub> i vapor d’aigua, pluviòmetre i radiòmetre són alguns dels instruments utilitzats. A l’esquerra, torre alta a la Muela mesurant en continu la concentració atmosfèrica de CO<sub>2</sub> i diverses variables meteorològiques (IC3)**





eficiència de l'ús de l'aigua o de la llum, etc.

Els estudis atmosfèrics completen els estudis ecosistèmics i impliquen la realització de vols equipats, per a mesurar la concentració de diòxid de carboni al llarg de transectos i perfils a diferents altituds, i estudiar els patrons de transport d'aquest gas a nivell regional. A més, les tècniques de teledetecció (imatges satel·litals i aèries), i la modelització permeten caracteritzar i interpretar les dinàmiques espaciotemporals dels fluxos de carboni, aigua i energia i els canvis en els ecosistemes a diferents escales, p.e. des de l'escala local a l'escala regional. Ajuden al seguiment de la cobertura vegetal (Figura 8), contingut d'aigua del terra (Figura 9), dinàmica de la cobertura de neu i riscs d'allaus.



Figura 5: Mesures de les emissions de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O i CH<sub>4</sub> amb un aparell fotoacústic en un camp agrícola amb diferents tractaments de diversitat i grups funcionals vegetals. Les taxes d'emissions s'acceleren després de la irrigació del camp, i quan la temperatura és més elevada.

**El futur de FLUXPYR**

L'estructuració de la xarxa, indispensable per a l'estudi dels canvis climàtics als Pirineus, aporta molts beneficis: facilita l'organització de tallers tècnics i la formació d'experts multidisciplinaris i l'enfortiment d'una recerca

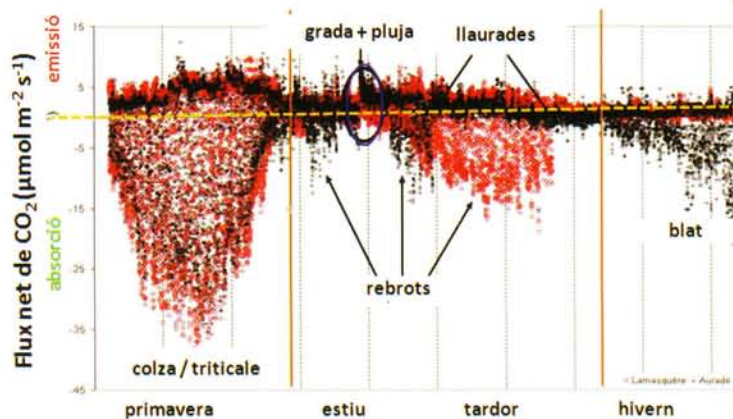
multidisciplinària i internacional. A més, permet el desenvolupament de propostes de recerca conjuntes de més abast, la redacció d'articles científics innovadors, la generació de dades de qualitat i l'elaboració de models més precisos. Això ajuda a informar de manera eficaç i robusta a les polítiques agriambientals i de

desenvolupament socioeconòmic, d'adaptació i d'atenuació del canvi global.

FLUXPYR és un projecte a relatiu curt termini, i s'enfronta a diversos reptes. La curta durada no permet l'obtenció de sèries de dades molt llargues, i fa difícil la generació de productes definitius. No obstant això, la modelització facilita la integració de les dades i el desenvolupament de productes predictius.

Sense dubte, FLUXPYR aconsegueix fomentar una col·laboració activa entre totes les institucions implicades, la realització d'activitats conjuntes i la posada en comú de dades, sobrepasant els interessos corporatius o individuals de cadascun dels socis i persones involucrades. El seu èxit i la seva continuïtat dependrà, d'una banda, de la seva capacitat per generar productes científics d'alta qualitat, i de l'altra, de la seva capacitat per traduir aquests productes en elements útils per a la societat i la gestió del medi ambient, i per connectar-se amb les xarxes i actors que ja estan treballant sobre el tema del canvi climàtic en Europa.

Figura 6: Intercanvi ecosistèmic net de CO<sub>2</sub>, reflectint l'absorció i emissió de CO<sub>2</sub> en dos camps de conreu a França i la influència de les pràctiques agrícoles (adaptat de Béziat *et al.*, 2009). L'absorció és més intensa a la primavera (fase de creixement de la vegetació) i a la tardor (fase de rebrots); el passatge del rascle i la pluja estimulen l'emissió de CO<sub>2</sub>, però globalment, els camps funcionen com a embornals de carboni.





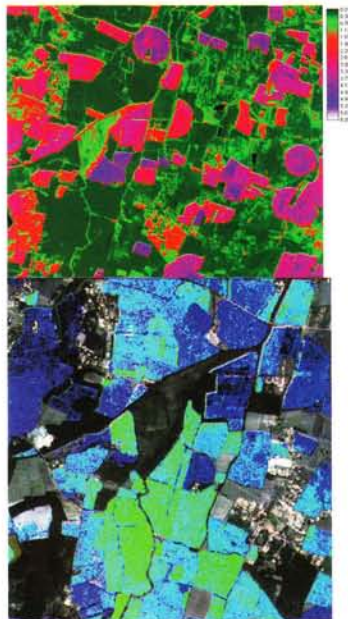
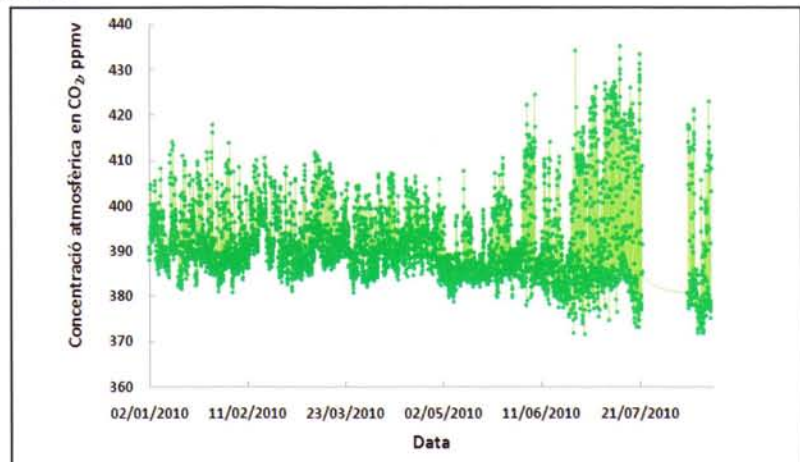


Fig. 7. Abaix. Seguiment continu de la concentració atmosfèrica de CO<sub>2</sub> a l'estació del CRAM (Centre de Recerca d'Alta Muntanya), a prop del túnel de Vielha, amb una resolució d'1 ppmv CO<sub>2</sub> (IC3, 2010). La concentració varia diàriament, per exemple en funció de l'activitat fotosintètica al voltant de l'estació, del grau de contaminació de l'aire, i de la direcció dels vents; Fig. 8. Esq.dalt. Mapa del índex d'àrea foliar (LAI) d'una zona a prop de Toulouse, França (F. Baup, CESBIO); Fig. 9. Esq.baix. Mapa de la humitat del sòl obtinguda a partir de dades Radar TERRASAR X (F. Baup, CESBIO). Les zones més seques estan indicades pel color blau fosc.



## Referències

- ARPE (Agence Régionale Pour l'Environnement de Midi-Pyrénées) (2009). L'impact du changement climatique en Midi-Pyrénées - Exemple de la chaîne des Pyrénées. Lavaud, J. (ed.), 78 p. <http://www.arpe-mip.com/html/1-6165-Le-changement-climatique-en-Midi-Pyrenees.php> (04/11/2010)
- BENISTON, M. (ed.) (1994). Mountain environments in changing climates. Routledge, London. 461 p.
- BENISTON, M. (2003). Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Cambio climático* 59: 5-31.
- BÉZIAT, P., CESCHIA, E., DEDIEU, G. (2009). Carbon balance of a three-crop succession over two cropland sites in South West France. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1628-1645.
- COX, P., BETTS, R., JONES, C., SPALL, S., TOTTERDELL, I. (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408: 184-187.
- CANADELL, J.G., KIRSCHBAUM, M.U.F., KURZ, W.A., SANZ, M.-J., SCHLAMADINGER, B., YAMAGATA, Y. (2007). Factoring out natural and indirect human effects on terrestrial carbon sources and links. *Environmental Science & Policy* 10: 370-384.
- GILMANOV, T.G., SOUSANNA, J.F., AIRES, L., ALLARD, V., AMMANN, C., BALZAROLO, M., BARCZA, Z., BERNHOFER, C., CAMPBELL, C.L., CERNUSCA, A., CESCATTI, A., CLIFTON-BROWN, J., DIRKS B.O.M., DORE, S., EUGSTER, W., FUHRER, J., GIMENO, C., GRUENWALD, T., HASZPRA, L., HENSEN, A., IBROM, A., JACOBS, A.F.G., JONES, M.B., LANIGAN, G., LAURILA, T., LOHILA, A., MANCA, G., MARCOLLA, B., NAGY, Z., PILEGAARD, K., PINTER, K., PIO, C., RASCHI, A., ROGIERS, N., SANZ, M.J., STEFANI, P., SUTTON, M., TUBA, Z., VALENTINI, R., WILLIAMS, M.L., WOHLFAHRT, G. (2007). Partitioning European grassland net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 12: 93-120.
- IC3 (Institut de Ciències del Clima) (2010). Dades de l'estació del CRAM (Centre de Recerca d'Alta Muntanya). Disponible en <http://www.carboschools.cat/cram/cram-vielha-dades.asp>. accés novembre 2010.
- 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., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- MEA (2005). *Millenium Ecosystem Assesment, Ecosystems and human well-being*. Síntesis. Island Press, Washington DC.
- SOUSANNA, J.F., ALLARD, V., PILEGAARD, K., AMBUS, P., AMMANN, C., CAMPBELL, C., CESCHIA, E., CLIFTON-BROWN, J., CZO'BEL, S., DOMINGUES, R., FLECHARD, C., FUHRER, J., HENSEN, A., HORWA'TH, L., JONES, M., KASPER, G., MARTIN, C., NAGY, Z., NEFTEL, A., RASCHI, A., BARONTI, S., REES, R.M., SKIBA, U., STEFANI, P., MANCA, G., SUTTON, M., TUBA, Z., VALENTINI, R. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agricult. Ecosyst. Environ.* 121: 121-134.
- WALKER, B.H., STEFFEN, W.L. (Eds.). (1996). *Global Change and Terrestrial Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.

## Agraïments

FLUXPYR està cofinançat per la Unió Europea - FEDER, la Generalitat de Catalunya (Oficina Catalana del Canvi Climàtic del Departament de Medi Ambient i Habitatge, i Departament d'Innovació, Universitats i Empresa) i el Conseil Régional Midi-Pyrénées. Rebre suport addicional dels ministeris francesos, CNES, INSU, UPS, UTM, APEM, ETH, ARPE, IPE/CSIC, CEFE, Universitat de Helsinki, CTP, OPCC.