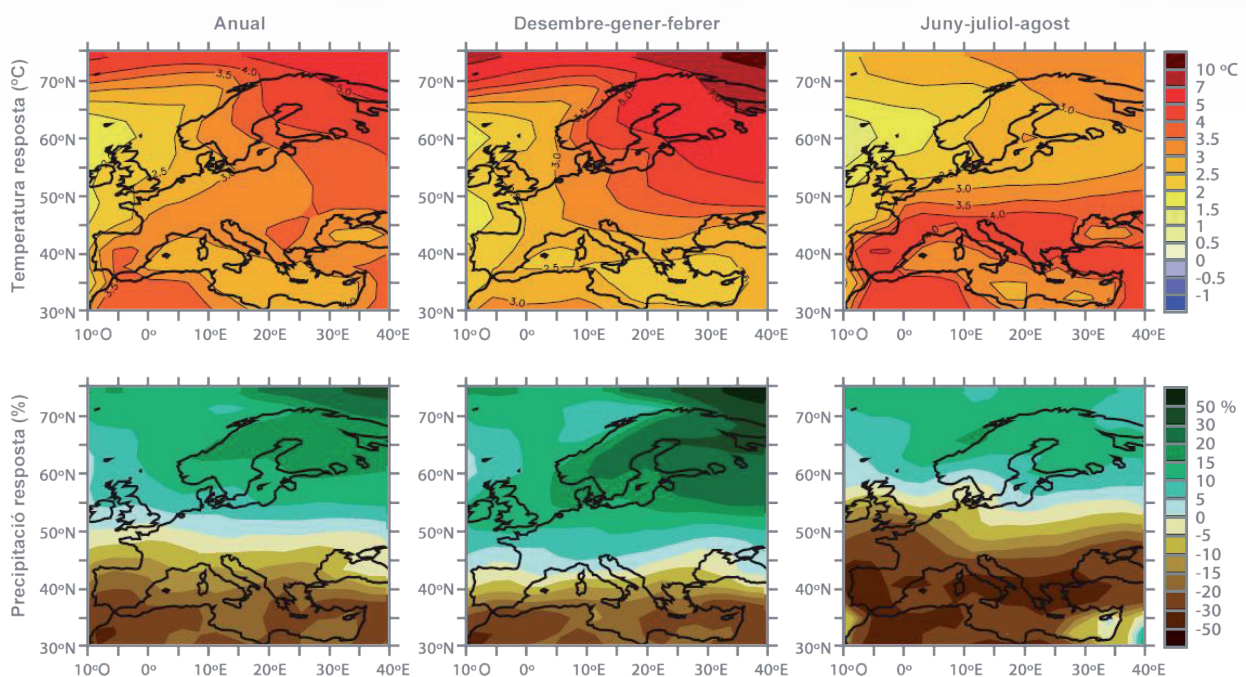


# Vulnerabilitats del litoral mediterrani al canvi global

Escrit per

Diana Pascual i Eduard Pla  
Centre de Recerca Ecològica  
i Aplicacions Forestals (CREAF)

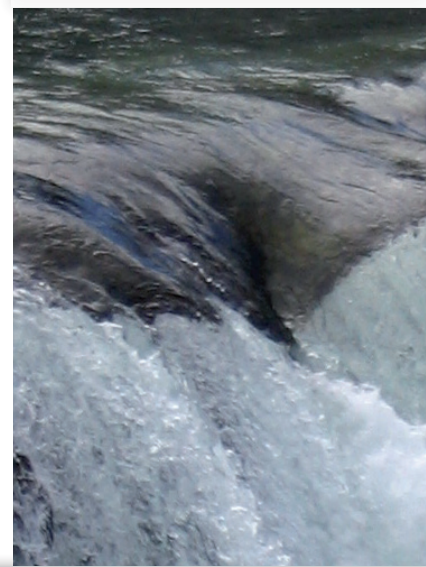
La conca mediterrània pot esdevenir una de les zones del planeta més vulnerables al canvi climàtic. Així ho assenyalen els estudis científics internacionals que prediuen augments rellevants de temperatura i descensos de precipitació en aquesta àrea al llarg del segle XXI. Quines implicacions sobre el territori pot tenir un futur més àrid? Quina serà la resposta dels ecosistemes naturals, agrícoles i urbans? Com condiciona el model d'ocupació del territori la pressió sobre recursos com l'aigua? Mirar de donar resposta a aquestes qüestions és l'objectiu principal del projecte ACCUA (Adaptacions al Canvi Climàtic en l'Ús de l'Aigua), que ha identificat les vulnerabilitats enfront del canvi global de tres conques de rius mediterranis i treballa per oferir-hi propostes d'adaptació.





◀ **Figura 1.** Canvis en la temperatura (a dalt) i de la precipitació (a baix) a Europa a partir de les simulacions de vint-i-un models globals, per a l'escenari A1B. S'hi mostren les diferències entre el període 2080-2099 i 1980-1999, d'esquerra a dreta, per la mitjana anual, la d'hivern i la d'estiu. Font: IPCC Christensen et al., 2007.

▼ **Figura 2.** Conques d'estudi del projecte ACCUA.



**H**i ha força consens científic a l'hora de predir que l'àrea mediterrània serà una de les zones del món més afectades pel canvi climàtic. Tots els models més recents coincideixen a apuntar que el clima, en aquesta regió, esdevindrà al llarg d'aquest segle més càlid que l'actual i més sec (fig. 1). Pel fet de ser una zona de transició biogeogràfica, la Mediterrània és, a més, un dels biomes més sensibles als canvis en els patrons i règims climatològics.

En general, les prediccions d'aquí al final del segle per a la Mediterrània assenyalen un increment de la temperatura mitjana anual superior al de la resta del món, i amb un augment superior a l'estiu. Alhora, també es preveu un descens generalitzat de les precipitacions anuals, especialment a l'estiu, de manera que hi haurà menys dies de pluja i períodes més llargs sense precipitacions.

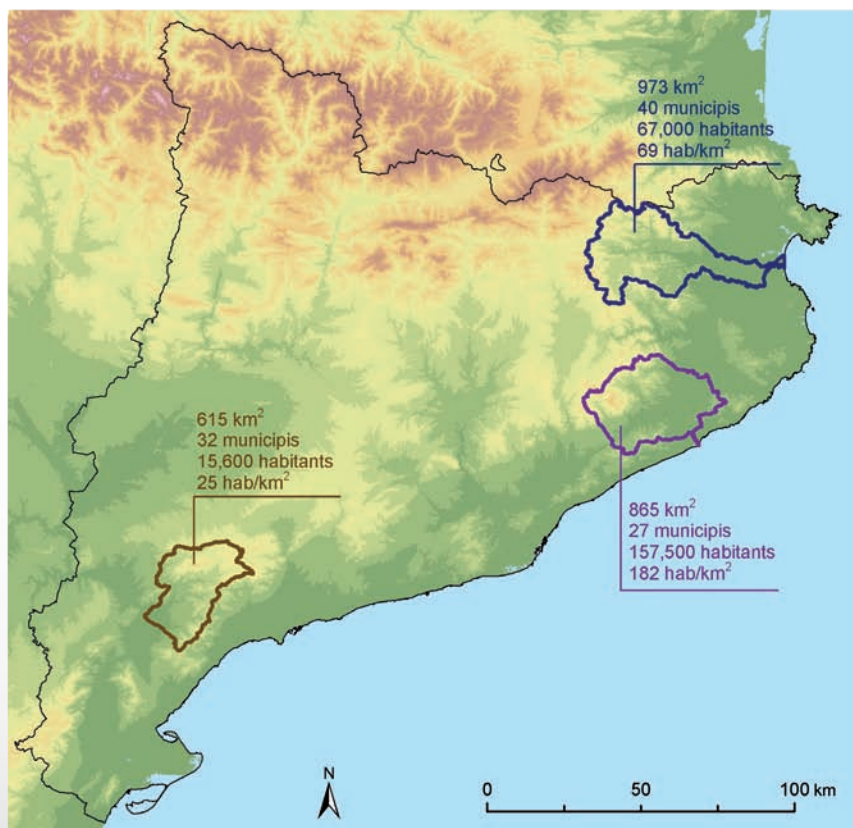
Els canvis previstos tindran més o menys severitat segons l'evolució de les emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Tot i que deixéssim d'emetre aquests gasos avui, el clima continuaria canviant durant unes quantes dècades. A la Mediterrània, els impactes esperats poden tenir, a petita escala (regional i local), una

magnitud i significació diversa, ja que es tracta d'una regió amb una elevada variabilitat temporal i espacial de les condicions ambientals. En aquest sentit, l'anàlisi de la resposta territorial als canvis previstos requereix una escala de treball amb prou detall per entendre aquesta variabilitat d'impactes i la integració dels processos socioeconòmics que hi interaccionen.

**Canvi global al litoral català: el cas de les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana**

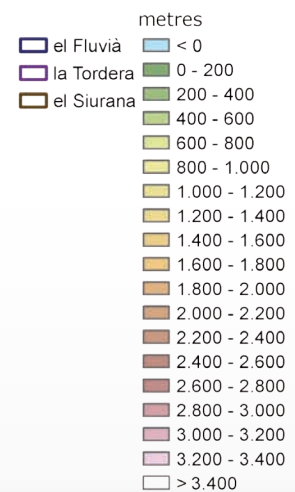
El projecte ACCUA ha avaluat la vulnerabilitat territorial al canvi global (sumant les implicacions derivades dels canvis d'usos del sòl previstos a l'efecte del canvi climàtic) en tres conques representatives de la franja litoral catalana: el Fluvià, la Tordera i el Siurana (fig. 2). El projecte s'ha focalitzat, especialment, en l'avaluació dels efectes del canvi en la disponibilitat d'aigua.

Comparables en superfície, les tres conques representen climàticament un gradient latitudinal al llarg del litoral català i recullen una diversitat interna de condicions ambientals, d'usos i pressions que les fa especialment interessants. Alhora, són conques gens o molt poc regulades, ja que només el Siurana disposa de tres petits embassaments. Es tracta de conques eminentment forestals que han registrat unes tendèn-



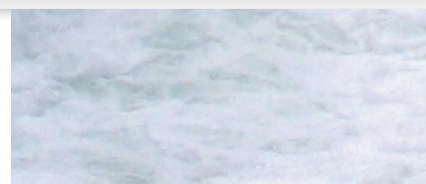
**Conques hidrogràfiques**

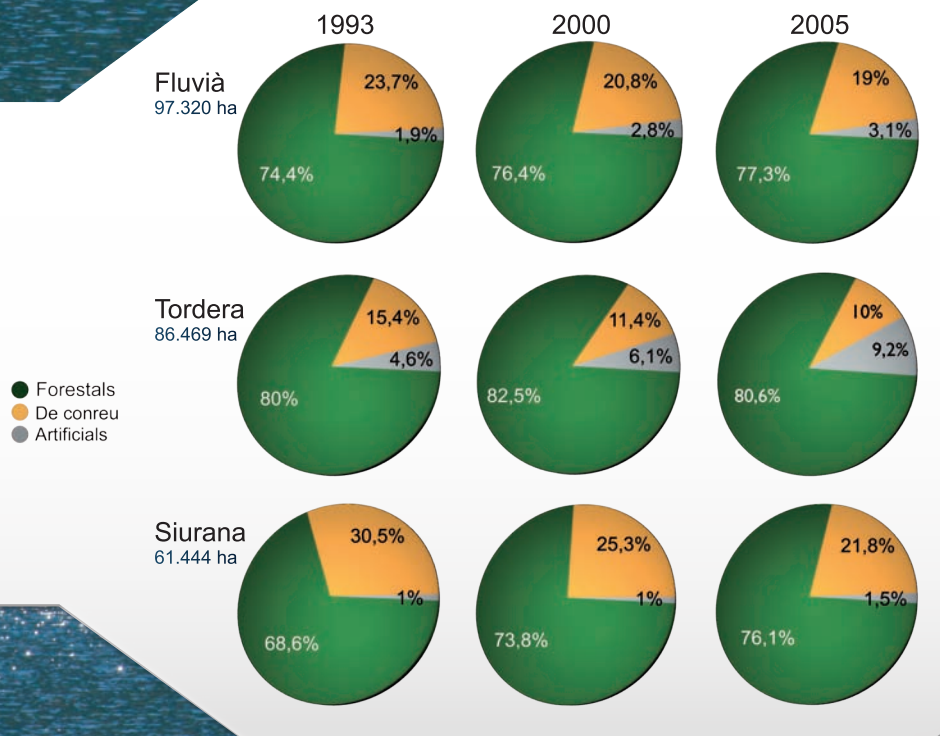
**Límits i altitud de les conques**



Altitud mitjana de les conques a partir de l'MDE de 30 m de l'ICC

el Fluvià	492 m
la Tordera	349 m
el Siurana	518 m





cies comunes en les darreres dècades pel que fa a un augment lleu de la superfície forestal, la pèrdua de terrenys agrícoles i l'increment de la superfície artificial (fig. 3).

Una anàlisi del clima històric a les conques estudiades ha constatat augments de la temperatura consistents amb els registrats globalment en aquesta regió litoral catalana (al voltant d'1,25 °C en el període 1951-2000), amb augments més notables de les temperatures màximes. La precipitació anual no ha experimentat canvis significatius a les conques en el mateix període, tot i que s'han registrat descensos significatius els mesos de juliol i

març, així com un petit augment el mes de gener.

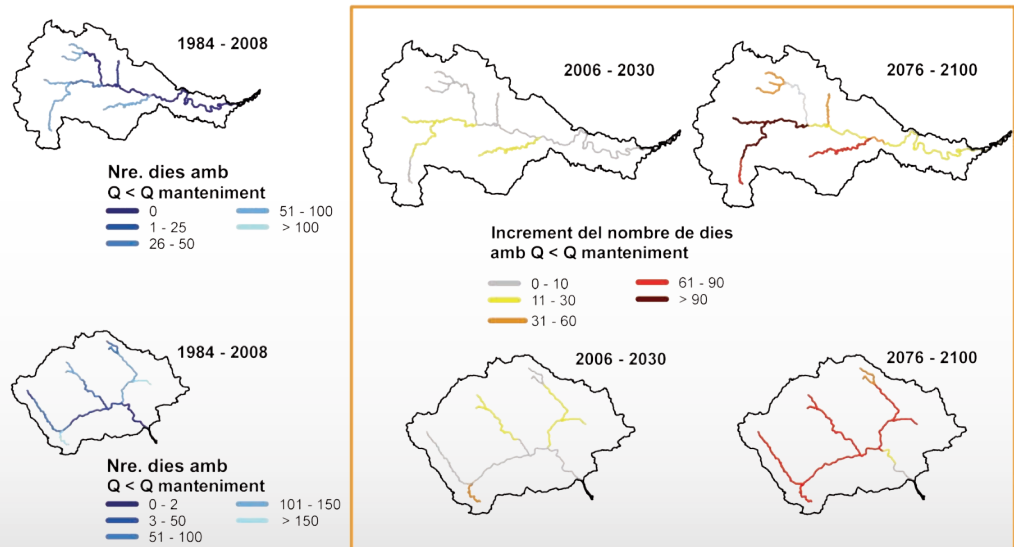
Les projeccions climàtiques que s'han adoptat provenen de la regionalització climàtica per a Catalunya proporcionada pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), que ha generat sèries climàtiques futures (2001-2100) i per al període de referència (1971-2000) a una elevada resolució espacial i temporal. Les sèries del SMC preveuen dos escenaris d'emissions globals definits pel Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC, per les sigles en anglès). El primer és l'escenari A2, que representa els efectes sobre el clima d'un creixement econòmic i demogràfic elevat amb un augment d'escalfament global mitjà al final del segle de 3,5 °C respecte al període 1980-2000. El segon és l'escenari B1,

que implica un desenvolupament més racional amb una reducció del consum de recursos, la utilització de fonts d'energia netes i eficients, i una població global estabilitzada amb un augment d'1,8 °C de l'escalfament global. Aquestes projeccions s'han utilitzat a ACCUA per predir la resposta de les conques al canvi climàtic a partir de diferents tècniques de modelització.

En aquest article ens fem ressò d'alguns resultats rellevants d'ACCUA en relació amb l'evolució al llarg del segle XXI de diversos indicadors de les vulnerabilitats futures d'aquestes tres conques en l'escenari climàtic més desfavorable (A2). Concretament, analitzarem els impactes

**▲ Figura 3.** Usos principals del sòl de les conques estudiades en el projecte ACCUA. S'hi mostren les dades de les tres edicions disponibles del Mapa de cobertes del sòl de Catalunya (MCSC 1993, 2000 i 2005).

**► Figura 4.** Canvis en els cabals de manteniment a les conques del Fluvià i la Tordera. A l'esquerra, s'hi mostren els dies amb cabal inferior al cabal de manteniment per al període de referència. A la dreta, s'hi mostren els increments en nombre de dies en períodes futurs respecte al període de referència.



sobre els cabals de manteniment dels rius, els canvis en la idoneïtat climàtica de les espècies forestals i, finalment, les variacions en el risc meteorològic d'incendi.

### Evolució dels cabals de manteniment

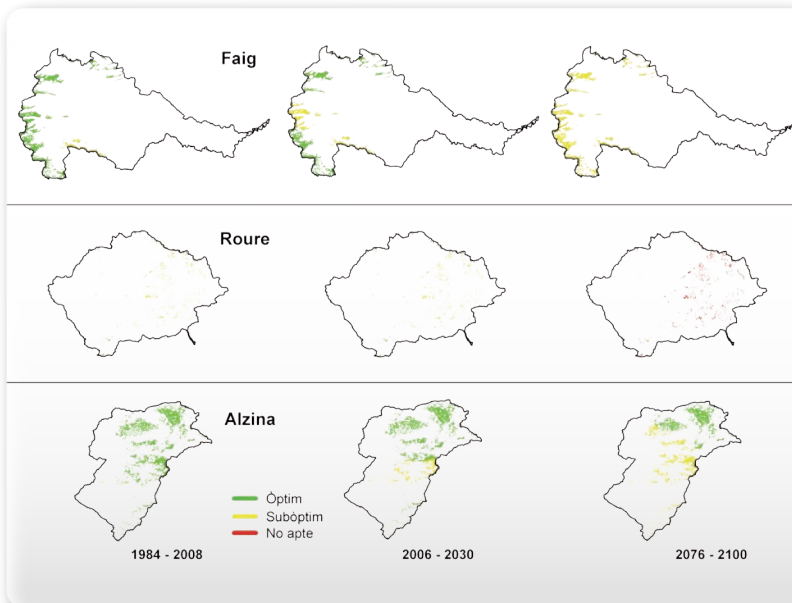
Entesos com a sistemes de drenatge de l'aigua dolça, els cursos fluvials presenten una forta variabilitat segons la localització i les condicions climàtiques, geomorfològiques i biològiques on es troben. Aquesta variabilitat hidrològica és bàsica per mantenir-ne les característiques, com són la morfologia, l'habitabilitat i el manteniment de comunitats biològiques. No obstant això, la pressió que les activitats humanes exerceixen sobre els cursos fluvials pot arribar a comprometre'n el funcionament. En aquest context, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), com a ens gestor dels cursos fluvials i en consonància amb els objectius de la Directiva marc de l'aigua (DMA), va establir el 2005 un règim de cabals de manteniment (ambiental) que han de circular pels sistemes fluvials que faci compatible els usos amb la conservació de la qualitat ambiental. Aquest règim de cabals de manteniment és específic per a cada punt significatiu de la xarxa fluvial principal de les conques internes de Catalunya i varia de manera mensual segons la disponibilitat d'aigua.

Per a les conques del Fluvià i la Tordera, el Pla Sectorial de Cabals de Manteniment proposa més d'una vintena de punts significatius, tant en els cursos principals com en els afluents. En el cas del Siurana, el Pla no disposa d'informació de base suficient per fer-ne una anàlisi tan detallada.

En el marc del projecte ACCUA hem analitzat l'evolució dels cabals al llarg del segle XXI sota els escenaris de canvi climàtic. Amb aquest propòsit, es va seleccionar el model hidrològic Soil and Water Assessment Tool (SWAT), desenvolupat el 2009 pel Departament d'Agricultura dels Estats Units (USDA), adient per fer simulacions contínues i distribuïdes del balanç hídic. En una primera fase del projecte, el model es va calibrar amb les dades de cabal observades a les

estacions d'aforament de l'ACA per al període 1984-2008 (vint-i-cinc anys).

Una vegada calibrat el model SWAT amb les dades observades, s'han fet simulacions que han incorporat el canvi climàtic amb les sèries climàtiques futures del SMC. Un cop examinats els resultats de cabals, s'ha fet una anàlisi del nombre de dies a l'any en què el cabal no supera el valor de cabal de manteniment proposat per l'ACA. Com a període control o referència, s'ha pres el nombre mitjà de dies de 1984-2008 i s'ha comparat amb dos períodes futurs: a curt termini (2006-2030) i a llarg termini (2076-2100). Els resultats mostren que, durant el període de referència o control, ja hi ha trams de riu, especialment a la capçalera, on els cabals circulants són inferiors als cabals ambientals (fig. 4). Si analitzem els efectes del canvi climàtic

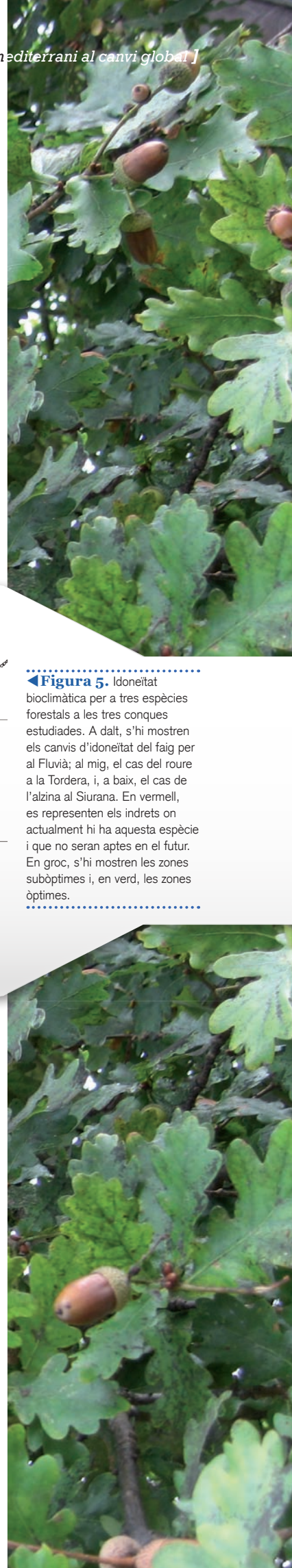


◀ **Figura 5.** Idoneïtat bioclimàtica per a tres espècies forestals a les tres conques estudiades. A dalt, s'hi mostren els canvis d'idoneïtat del faig per al Fluvià; al mig, el cas del roure a la Tordera, i, a baix, el cas de l'alzina al Siurana. En vermell, es representen els indrets on actualment hi ha aquesta espècie i que no seran aptes en el futur. En groc, s'hi mostren les zones subòptimes i, en verd, les zones òptimes.

tic sobre els cabals a curt termini no s'observen canvis significatius en el nombre de dies amb cabals inferiors a l'ambiental, fora d'alguns trams a les capçaleres. Si l'anàlisi es fa a llarg termini, s'observa que al Fluvià i a la Tordera hi ha trams, principalment a la zona de capçalera, on s'incrementen en més de seixanta i noranta el nombre de dies en què els cabals no arriben al mínim ambiental.

### Idoneïtat climàtica de boscos

La idoneïtat climàtica d'un bosc es pot definir com el conjunt de característiques climàtiques que permeten que aquell bosc prosperi i es desenvolupi en un lloc concret. En un context de canvi climàtic, aquestes característiques podrien esdevenir en un futur menys adequades per a les comunitats actuals, fet que podria com-





prometre'n la viabilitat. Tot aprofitant les sèries climàtiques futures del SMC, es va analitzar la vulnerabilitat dels boscos actuals a l'efecte del canvi climàtic.

Per definir l'estat actual dels boscos i poder-ne projectar la situació futura, es va emprar el Bioclimatic Envelope Algorithm (BIOCLIM), dissenyat per identificar de manera simple les àrees que tenen un clima propici per a una espècie concreta. A partir de la localització actual de l'espècie i segons una sèrie de variables explicatives, l'algoritme estima envoltants bioclimàtiques, és a dir, combinacions d'aquestes variables on estadísticament es pot desenvolupar l'espècie, i classifica els punts en zones òptimes, subòptimes i no aptes per a l'espècie estudiada. Com a variables explicatives s'han adoptat la precipitació mitjana anual i la temperatura mitjana del mes més fred. En aplicar el model a les condicions futures, es poden representar canvis en la idoneïtat de totes les espècies d'arbres presents a les conques d'estudi (fig. 5).

Els resultats del model BIOCLIM mostren que les espècies pròpies de zones més humides que actualment es troben en el seu moment òptim, com ara el faig (*Fagus sylvatica*), el roure martinenc (*Quercus humilis*) i el pi roig (*Pinus sylvestris*), al final del segle es podrien trobar en condicions subòptimes. Aquestes mateixes espècies en zones actualment subòptimes en podrien veure compromesa la viabilitat en un

futur. Les espècies esclerofil·les i perennifòlies, com ara l'alzina (*Quercus ilex*) i el pi blanc (*Pinus halepensis*), passarien a trobar condicions òptimes en zones de cotes més elevades.

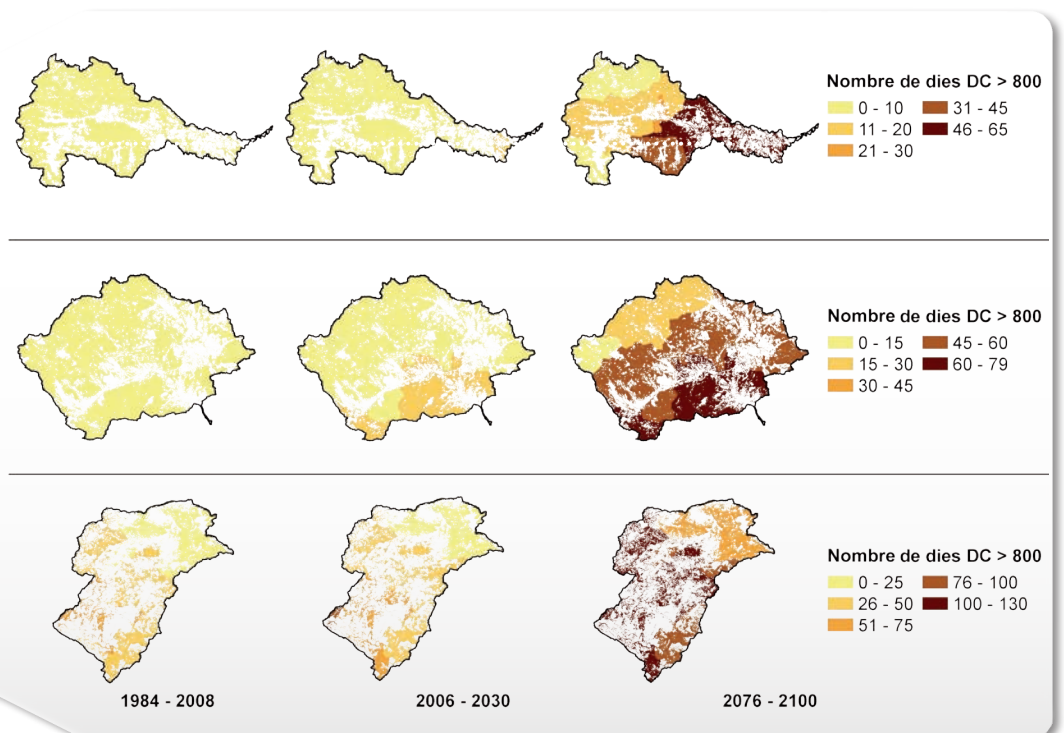
### Risc d'incendi

Una de les vulnerabilitats territorials més rellevants a l'àrea mediterrània és el risc d'incendi. Estudis observacionals ja han trobat correlacions molt consistents entre les variables climatològiques i els índexs de risc d'incendi forestal, així com amb el nombre i l'àrea dels incendis.

En aquest treball hem adoptat l'índex Drought Code (DC), del Canadian Forest Fire Weather Index System. Es tracta d'un estimador de la sequedat acumulada del combustible tot prenent en consideració la temperatura màxima diària i la precipitació acumulada. Treballs recents a Catalunya amb aquest indicador estableixen una correlació significativa entre els valors de l'índex DC i l'augment exponencial de l'àrea cremada observada, alhora que assenyalen el llindar de valors de DC 600-800 perquè consideren que el risc de tenir un gran incendi és molt elevat. Els resultats (fig. 6) mostren aquesta tendència creixent a l'augment de dies amb risc extrem, especialment rellevant en les condicions del final del segle.

### Conclusions

En el marc del projecte ACCUA, s'han avaluat les vulnerabilitats territorials futures en tres



► **Figura 6.** Nombre de dies amb un valor de DC superior a 800 (risc extrem de patir un gran incendi) per a les diferents conques estudiades (Fluvià, Tordera i Siurana).



conques representatives de la franja litoral catalana: el Fluvià, la Tordera i el Siurana.

En aquest treball hem presentat alguns dels impactes esperats en tres indicadors prou rellevants d'aquestes vulnerabilitats: la disminució dels cabals, els canvis d'idoneïtat de les espècies forestals i l'augment del risc meteorològic d'incendi. Aquest tipus d'anàlisi anticipen les dinàmiques que es poden produir al territori a partir d'eines de modelització i permeten una aproximació cabdal en la definició d'estratègies d'adaptació a escala local.

En el cas dels cabals de manteniment, disposar d'aquests resultats pot ser molt rellevant a l'hora de plantejar projectes de protecció d'espais especialment sensibles i, fins i tot, per redissenar els requeriments dels cabals de

manteniment segons les futures condicions climàtiques previstes a cada conca.

Pel que fa als boscos, aquests resultats permeten delimitar les zones i les espècies més sensibles a les noves condicions, ja sigui d'eixut, de risc d'incendi o d'ambdós factors. Les estratègies de gestió forestal s'han de dissenyar específicament, però s'han d'encaminar a afavorir estructures més robustes a l'estrès hídric i més resistents al foc.

El planejament i la gestió territorial s'han de fonamentar en la comprensió dels processos implicats a escala de treball local, tot integrant els impactes futurs del canvi global en els diferents sistemes ecològics des d'una perspectiva multidisciplinària. El projecte ACCUA vol fer una aportació rellevant en aquest repte. ■

### Agraïments

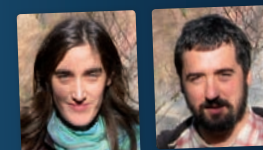
El treball presentat s'emmarca en el projecte ACCUA (<http://www.creaf.uab.cat/accua>), coordinat per Jaume Terradas i Javier Retana des del CREAM. El programa compta amb la participació dels investigadors Gonzalo Olivares, Karim Tamoh, Lucila Candela i Manuel Gómez, de la UPC; Carme Biel i Robert Savé, de l'IRTA; Jaume Fons i Roger Milego, de l'ETC-SIA, i Joan Albert López-Bustins, de la UB. També ha comptat amb l'assessorament extern de l'Agència Catalana de l'Aigua. El projecte ha estat finançat per l'Obra Social de CatalunyaCaixa (<http://www.catalunyacaixa.cat/obrasocial>). Les projeccions climàtiques regionalitzades per a Catalunya han estat facilitades pel Servei Meteorològic de Catalunya. Agraïm notablement les aportacions de Miquel Ninyerola (UAB) i Lasse Loepfe (CREAF) al disseny de les anàlisis realitzades.

### Referències bibliogràfiques

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2005). «Pla Sectorial de Cabals de Manteniment de les conques internes de Catalunya», novembre 2005.
- BARREDA-ESCODA, A.; CUNILLERA, J. (2010). «Study of the precipitation evolution in Catalonia using a mesoscale model (1971-2000)». *Advanced Geosciences*, vol. 26, p. 1-6.
- CHRISTENSEN, J. H. [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; Nova York: Cambridge University Press.
- LAVOREL, S. [et al.] (1998). «Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects». *Global Ecology and Biogeography*, núm. 7, p. 157-166.
- LLORET, F. [et al.] (2009). *Atles de planes llenyoses dels boscos de Catalunya*. Bellaterra: Lynx.
- PIÑOL, J. [et al.] (1998). «Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in Coastal Eastern Spain». *Climatic Change*, núm. 38, p. 345-357.
- RIBAS, A. [et al.] (2010). «Climate Change at the Local Scale: Trends, Impacts and Adaptations in a Northwestern Mediterranean Region (Costa Brava, NE Iberian Peninsula)». *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*, vol. 2, núm. 1, p. 247-264.
- LOEPFE, L. [et al.] (2010). «Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenization determine fire regimes in three Mediterranean areas». *Forest Ecology and Management*, núm. 249, p. 2366-2374.

### Diana Pascual i Eduard Pla

(Valladolid, 1980) (Barcelona, 1974)



Diana Pascual (Valladolid, 1980) i Eduard Pla (Barcelona, 1974) són els coordinadors del projecte ACCUA. Diana Pascual és enginyera forestal per la Universitat de Lleida. Des del 2009 treballa al CREAM coordinant el projecte esmentat. Eduard Pla és llicenciat en ciències ambientals per la Universitat Autònoma de Barcelona i va obtenir el grau de doctor en ecologia el 2002. Des d'aleshores treballa al CREAM en projectes relacionats amb els boscos i el canvi climàtic.