

# Síntomes biològics del canvi climàtic

**Josep Peñuelas**

Unitat Ecofisiologia CSIC-CREAF, CREAF (Center for Ecological Research and Forestry Applications),  
Edifici C, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra

*Les evidències científiques d'alteracions en els cicles vitals dels organismes vius s'han convertit en un símptoma clar que el canvi climàtic afecta la vida. L'autor descriu els canvis fenològics a escala mundial, com s'estan alterant les comunitats i l'activitat dels ecosistemes i la biosfera. Així mateix, fa una descripció especial de la situació a Catalunya.*

## Ens escalfem

Aquestes darreres dècades, el planeta Terra s'ha escalfat. Ara ja ho sabem quasi tots. Ho ha fet per terme mitjà 0,6-0,7 °C, però a molts indrets del nostre país, l'augment ha superat amb escreix 1 °C (1-5). És, potser, el símptoma més clar que el planeta accentua la seva activitat biogeoquímica. I tots sabem, també, quina n'és la raó més que probable. La població d'una de les seves espècies, la humana, i l'ús que aquesta espècie fa dels recursos i de l'energia en les seves activitats exosomàtiques, com el transport o la indústria, han seguit creixent exponencialment. En conseqüència, s'han produït i es continuen produint tota una sèrie de canvis de caràcter global entre els quals destaca, pels seus efectes sobre els organismes i els ecosistemes, aquest escalfament<sup>1</sup>.

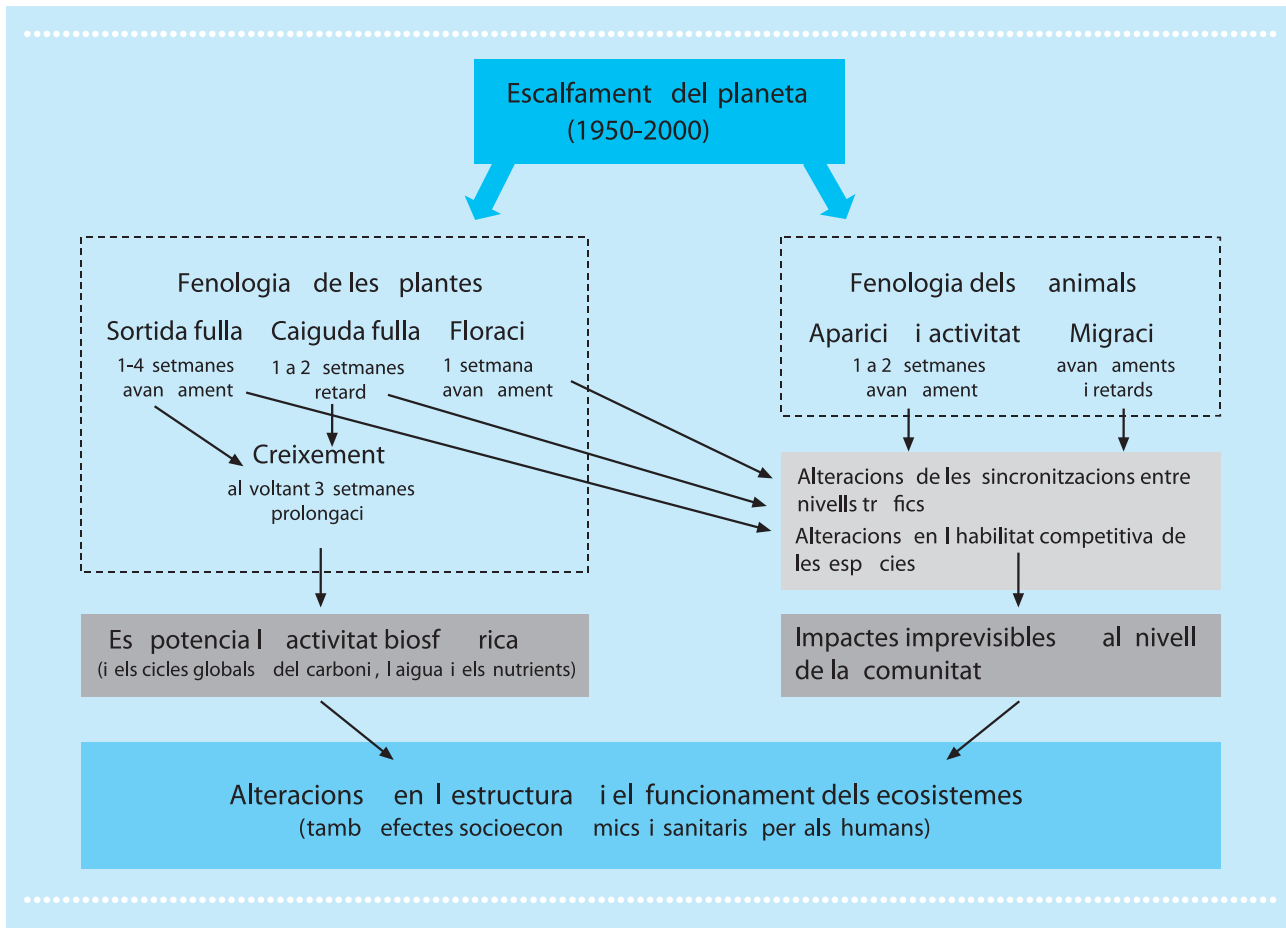
A conseqüència de l'absorció de la radiació infraroja pels gasos hivernacle, com ara el CO<sub>2</sub> o el metà, i del seu continuat increment, pràcticament tots els models preveuen que aquest escalfament s'accentui en les properes dècades. Centenars de climatòlegs, ecòlegs, economistes, geògrafs, químics, advocats i altres professionals vàrem generar l'any passat el tercer informe del Panell Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC 2001)<sup>2</sup> promogut per l'ONU, algunes conclusions del qual mereixen atenció. Les evidències de l'escalfament de la Terra i d'altres canvis en el sistema climàtic són ara encara més clares i contundents que les recollides al segon informe (IPCC 1995). Les dues últimes dècades han estat les més càlides de l'últim mil·lenni. Ha disminuït la superfície gelada de l'Àrtic un 15 % en 50 anys, el nivell del mar ha pujat uns 15 cm aquest segle passat, ha canviat

el règim de precipitacions en algunes regions i han augmentat la freqüència i la intensitat d'alguns fenòmens com El Niño. Tots aquests canvis sembla que s'accentuaran les properes dècades ja que l'atmosfera segueix canviant a causa de la nostra activitat, una activitat que, com hem assenyalat, creix exponencialment i segueix basada en la combustió de materials fòssils. Es preveu un augment d'1 a 5 °C durant aquest segle dependent de l'evolució de les emissions dels gasos hivernacle.

## I a Catalunya, a més a més, ens assequem

Al nostre país, la temperatura mitjana de molts llocs ha augmentat més d'1 °C els últims 50 anys, i sembla que el «bon temps» arriba abans. Les temperatures que fa 50 anys es registraven a principis d'abril, es donen ara a primers de març<sup>3</sup>. En alguns indrets com ara els Pirineus centrals els augments de temperatura mitjana de mesos com l'octubre en els darrers vint anys són veritablement extraordinaris, quasi increïbles; són de fins a 4 °C. Tot i que la precipitació no ha disminuït en les darreres dècades<sup>3,4</sup>, l'augment de temperatura causa una evapotranspiració més elevada, de manera que moltes localitats i regions mediterrànies són ara més càlides i més seques que a les dècades anteriors. A l'observatori de Roquetes, el segle xx, l'evapotranspiració potencial ha augmentat 13 mm i la humitat relativa ha anat disminuint un 0,85 % per dècada<sup>4</sup>. I tot i que les prediccions climàtiques, especialment les relatives a la precipitació, es fan extremament complexes a l'àmbit local i regional, els 1-3 °C d'increment en les temperatures previstes per molts

Gràfic 1. Escalfament del planeta (1950-2000)



models de circulació mundial a la regió mediterrània per a mitjan segle XXI, augmentaran encara més l'evapotranspiració.

### Els cicles vitals estan canviant

Més coses que tots sabem. La nostra activitat i l'activitat de tots els organismes vius està fortament condicionada per la temperatura. No podem esperar cap altra cosa d'aquesta activitat que no sigui una alteració. No ens estranyarà, així doncs, que l'escalfament s'hagi traduït ja en canvis significatius en

els cicles vitals de plantes i animals<sup>5</sup>. Recordem que el pas per les diferents fases depèn, entre altres factors, de la temperatura acumulada, del que els biòlegs anomenem graus-dia, és a dir, del total d'energia requerida per un organisme per desenvolupar-se i passar d'una fase a l'altra del seu cicle vital. Les evidències d'aquestes alteracions en els cicles vitals són fàcilment observables per tots aquells que segueixin la natura i tinguin uns quants anys, i de fet ja s'han descrit a diverses regions de tot el món, des dels ecosistemes freds i humits fins als càlids i

secs, tot observant els registres fenològics disponibles. Aquests canvis fenològics (la *fenologia* és la ciència que estudia aquests cicles vitals dels organismes) s'han convertit en el símptoma més clar que el canvi climàtic ja afecta la vida.

El nostre país és un dels llocs on els canvis observats són més importants<sup>3</sup>. Però d'observacions com les trobades aquí també n'hi ha, amb resultats comparables, arreu del món, tot i que predominin als països rics, amb més gran nombre d'investigadors i més tradició científica<sup>5</sup>. Aquí, a Catalunya,



les fulles dels arbres surten ara, de mitjana, uns 20 dies abans. Per exemple, sembla que la pomera, l'om o la figuera treuen les fulles amb un mes d'antelació, i l'ametller i el pollancre, uns quinze dies abans, encara que n'hi ha d'altres, com el castanyer, que semblen immutables al canvi de temperatura (segurament depenen més d'altres factors com el fotoperíode o la disponibilitat hídrica). D'altra banda, les plantes també floreixen i fructifiquen de mitjana 10 dies abans que fa 30 anys. I els cicles vitals dels animals també són alterats. Per exemple, l'aparició d'insectes, que passen pels diferents estadis larvaris més ràpidament en resposta a l'escalfament, s'ha avançat 11 dies. Els amants de les papallones ho hauran notat. Apareixen abans i són més actives. 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. Per exemple, a Cardedeu tenien unes 60 gelades anuals fa cinquanta anys i ara han passat a tenir-ne unes 20, i per tant també ha disminuït el risc de malmetre fulles i flors joves. També al mar, s'han observat increments en la durada i abundància de fitoplàncton en zones on hi ha hagut un progressiu escalfament de l'aigua entre 1948 i 1995 <sup>5</sup>.

### ...amb alteracions de les comunitats...

Tots aquests canvis 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 dependent de l'espècie (i fins i tot dels individus). Per exemple, el vern i la ginesta floreixen amb més d'un mes d'avançament, les roses ho fan quinze dies abans, les alzines una setmana, l'olivera no s'immuta i el pi pinyoner fins i tot triga uns dies més. Aques-

tes respostes tan heterogènies al canvi climàtic poden produir importants desincronitzacions en les interaccions entre espècies, per exemple entre les plantes i els pol·linitzadors, o entre les plantes i els herbívors, i alterar així l'estructura de les comunitats.

Un exemple paradigmàtic de les desincronitzacions entre nivells tròfics el tenim en 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, s'esperaria una arribada més primerenca de les aus migratòries. I, malgrat tot, l'arribada d'algunes aus tan comunes i populars com el rossinyol, l'oreneta, el cucut o la guatlla sembla que s'està retardant de mitjana dues setmanes respecte a fa trenta anys. El retard segurament ve determinat pel canvi climàtic del lloc des d'on emigren, les regions subsaharianes, o a les regions que creuen en la seva ruta migratòria. Així, la sequera i la desforestació del Sahel, i la conseqüent manca d'aliment, poden dificultar la preparació del seu viatge i afavorir aquesta arribada més tardana. Tots aquests canvis poden representar una amenaça per a algunes aus migratòries que arriben en un moment poc idoni per explotar l'hàbitat ja que han de competir amb les espècies que s'han quedat durant l'hivern i es troben en millor estat competitiu. De fet, el descens en el nombre d'aquestes aus migratòries que arriben a Europa en els darrers anys en pot ser una conseqüència. D'altra banda, hi ha espècies antigament migratòries que aprofiten que el nostre 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.

### ...i de l'activitat dels ecosistemes i la biosfera.

Quan ens mirem els canvis fenològics a escala mundial <sup>5</sup>, ens trobem amb alteracions tan importants com ara l'augment en un 20 % de l'activitat biològica del nostre

planeta en els últims 30 anys a causa, en gran part, de l'allargament del període productiu. Ho apreciem tant en les imatges dels satèl·lits d'observació de la Terra, com en les dades de concentració atmosfèrica de CO<sub>2</sub>. Per al seguiment de les masses vegetals des de l'espai s'empra un índex de vegetació normalitzat, el NDVI, acrònim anglès àmpliament usat també a casa nostra, ja quasi plenament incorporat a la nostra llengua. 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 nombrosa és la biomassa verda. Doncs bé, aquest NDVI corrobora les dades fenològiques dels observadors terrestres i mostra com en els darrers 20 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<sub>2</sub> i de les deposicions de nitrogen pot ser degut també, en part, a aquest augment de temperatura i a aquest allargament de l'estació de creixement (activitat vegetativa).

Tot això també queda corroborat per les dades de concentració atmosfèrica de CO<sub>2</sub>, que ens mostren un augment de l'oscil·lació estacional de CO<sub>2</sub> en les últimes dècades a causa de la disminució primaveral més important de la concentració de CO<sub>2</sub>. Aquest allargament de l'estació de creixement juga un paper molt important en la fixació mundial del carboni, la quantitat de CO<sub>2</sub> 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 i en el balanç de C, ara tan important a les envistes dels protocols de Kyoto.

### Altres canvis als nostres ecosistemes

Els ecosistemes mediterranis presenten una gran variabilitat climàtica, una important complexitat topogràfica, uns marcats gradients en els usos del sòl i en la dispo-

nibilitat d'aigua, i una gran biodiversitat. Segurament per tot això són especialment sensibles als canvis atmosfèrics i climàtics, a més de ser-ho als canvis en els usos del sòl, demogràfics i econòmics.

El canvi climàtic augmenta l'estress hídric de la seva 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 iguals a les de precipitació. 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.

#### **Sequera, incendis, emissió de compostos orgànics volàtils i nitrats a l'aigua**

Dels efectes de períodes càlids i secs en tenim un exemple recent en el calorós i sec 1994. Aquest episodi va afectar profundament la vegetació mediterrània. Les alzines, per exemple, es van assecar en moltes localitats i ho van fer en un grau més o menys elevat depenent del tipus i la fondària del sòl, i de l'orientació dels pendents<sup>6</sup>. Estudis isotòpics amb C<sup>13</sup> i N<sup>15</sup> van mostrar que durant els anys posteriors aquests alzinars van romandre afectats, de manera que van presentar un ús més reduït 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.

Aquestes condicions més càlides i més àrides, junt amb altres fenòmens relacionats amb el canvi global com l'increment de biomassa i d'inflamabilitat associat a l'augment del CO<sub>2</sub>, 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 incendis, que han augmentat al llarg del segle xx<sup>4</sup>, ja constitueixen una de les pertorbacions més importants dels ecosistemes mediterranis<sup>7</sup>. Malgrat

la complexitat de la relació vegetació-foc, els efectes sobre la vegetació són bastant previsibles. Per exemple, si augmenta el nombre d'incendis, augmenta l'expansió d'espècies heliòfiles, intolerants a l'ombra i que requereixen espais oberts. En canvi, disminueix la presència de les ombròfiles i els focs acaben per mantenir comunitats en estadis successional primers<sup>7</sup>.

L'augment de temperatura també incrementa exponencialment l'emissió de compostos orgànics volàtils, que afecten de manera important la química atmosfèrica i el clima a través de la formació d'ozó i aerosols o l'oxidació del metà<sup>8</sup>. Les emissions resulten de la difusió dels COV en un gradient de pressió de vapor des dels teixits amb alta concentració a l'aire circumdant, on les concentracions són baixes a conseqüència de l'extrema reactivitat dels COV. Per tant, les emissions són controlades pels factors 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 COV en activar-ne la síntesi enzimàtica i la pressió de vapor i en disminuir la resistència a l'emissió. D'altra banda, la sequera redueix les emissions a causa de la falta de carbohidrats i ATP, i de la disminució de la permeabilitat de la cutícula en 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.

Recordem que els processos biogeoquímics depenen de la temperatura i que entre ells podem citar-ne un altre que ara preocupa moltes comarques catalanes: la progressiva eutrofització, enriquiment en nutrients, sobretot nitrats, de les aigües dels pous. Va lligada en molts casos a l'excés de purins, però l'augment de temperatura o les sequeres no són del tot alienes a aquest fenomen. L'escalfament augmenta la mineralització, i la sequera impedeix l'ús de nutrients per part de les plantes i facilita les pèrdues del sistema quan arriben les pluges. Un altre exemple d'alteració biogeoquímica el tenim en l'estimulació de la descompo-

sició per l'escalfament. La falta d'aigua, per contra, l'alenteix. Convindrà estudiar el balanç de la interacció d'aquests dos factors sobre el cycle de la matèria i el funcionament dels nostres ecosistemes mediterranis.

#### **Canvis d'estructura, migracions, desertització**

Tots aquests canvis funcionals poden acabar afectant l'estructura dels ecosistemes. Així, a llarg termini, i si es repeteixen sovint fortes sequeres com la de 1994, poden produir canvis importants en la composició i estructura del bosc mediterrani. Els falsos aladerns, per exemple, podrien arribar a desplaçar les alzines en un clima més sec i càlid puix que són més eficients en l'ús de l'aigua, en l'eliminació de l'excés de radiació i en la conductivitat hidràulica quan la disponibilitat hídrica és baixa<sup>9</sup>.

Aquella forta secada de 1994 va danyar greument molts boscos i matollars de la península Ibèrica (el 80 % de les 190 localitats peninsulars estudiades presentaven espècies danyades). El grau d'afectació fou diferent depenent del tipus funcional i de la història evolutiva de les diverses espècies<sup>10</sup>. Els gèneres mediterranis, *Lavandula*, *Erica*, *Genista*, *Cistus* i *Rosmarinus*, la majoria arbustius i evolucionats en les condicions climàtiques mediterrànies, és a dir, posteriorment als 3,2 milions d'anys del pliocè, foren aparentment més afectats per la sequera que els gèneres evolucionats amb anterioritat, *Pistacia*, *Olea*, *Juniperus*, *Pinus* i *Quercus*, majoritàriament arbres. Tot i així, els gèneres mediterranis es recuperaren molt millor després d'uns anys de més disponibilitat hídrica. Un gènere al·lòcton com l'*Eucalyptus* fou fortament danyat per la sequera i no es recuperà en els anys successius. Els gèneres mediterranis postpliocè semblen més adaptats per respondre a un ambient no fàcilment previsible amb una gran variabilitat estacional i interanual i subjecte a pertorbacions freqüents. Entendre aquestes respostes és important per preveure la futura composició de les comunitats si segueix el canvi climàtic.

Fins a quin punt tenen les plantes i animals mediterranis capacitat per adaptar-se o aclimatar-se ràpidament a aquests canvis climàtics? Des d'un punt de vista evolutiu les espècies tendeixen a ser bastant conservadores i a respondre a les perturbacions més amb la migració que amb l'evolució. A les muntanyes, les espècies poden respondre al canvi climàtic migrant verticalment distàncies curtes (per exemple, són suficients 500 m per contrarestar un augment de 3 °C).

El planeta i les nostres regions ja han vist nombrosos moviments de les formacions vegetals, de la distribució dels biomes en resposta a canvis climàtics pretèrits. Però encara no hi ha pas gaire evidències en resposta a l'escalfament actual. Cal recordar que aquests processos requereixen un temps. De tota manera, recentment, junt amb Martí Boada<sup>11</sup>, hem comparat la distribució de la vegetació del Montseny d'ara amb la de 1945 i hem pogut apreciar una progressiva substitució dels ecosistemes temperats (les fagedes) pels mediterranis (alzinars). A més, les fagedes s'han desplaçat en alçada uns 70 m fins arribar a les màximes altituds (1600–1700 m). També les landes de bruguera estan sent reemplaçades per les alzines a altituds mitjanes, de manera que l'alzina es troba ja fins a alçades tan inesperades com els 1400 m. Les condicions progressivament més càlides i àrides, però també els canvis d'usos del sòl, principalment l'abandonament de la gestió tradicional, com la pràctica desaparició dels incendis associats a la ramaderia (ara són prohibits al parc del Montseny), són a la base d'aquests canvis, en un exemple paradigmàtic de com interactuen els diferents components del canvi global.

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 perturbats, cosa que 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



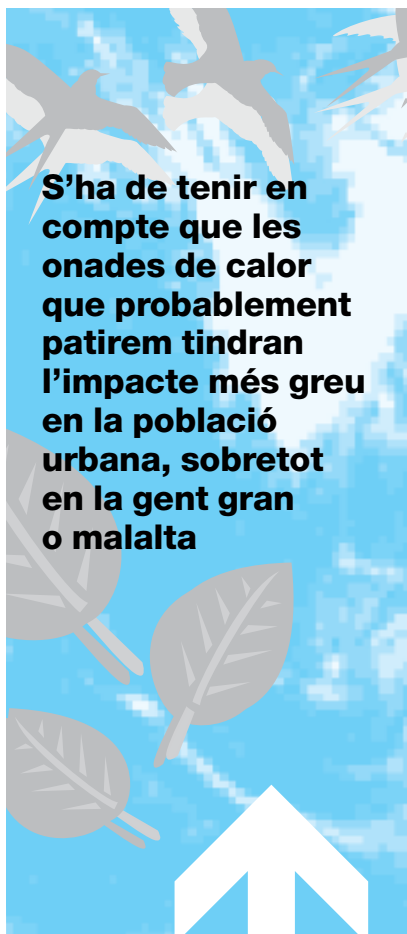
**Els estudis paleoecològics suggereixen que moltes espècies vegetals poden migrar amb suficient rapidesa com per adaptar-se al canvi climàtic, però solament si existeixen ecosistemes contigus no perturbats**

aèria de les comarques de Barcelona. Pel que fa a les muntanyes, la migració cap a altituds superiors comporta una reducció concomitant en l'àrea total de cada hàbitat, per la qual cosa les espècies amb un requeriment d'àrea més gran poden extingir-se.

Aquests efectes de l'escalfament no ens han d'estranyar perquè tots sabem que els règims climàtics determinen la distribució de les espècies i dels biomes a través dels llinars específics de cada espècie pel que fa a la temperatura i a la disponibilitat d'aigua. I tot això no només fa referència a les plantes, els animals no 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. Se n'han descrit cap al pol de 35 a 240 km durant el segle passat en 34 espècies de papallones europees incloent-n'hi de «catalanes»<sup>12</sup>.

Quan hi ha encara més dèficit hídric, a les zones semiàrides d'alguns indrets del país i sobretot a les zones del sud-est de la Península, la vegetació encara és més lenta en la seva recuperació després de sequeres múltiples i prolongades i/o d'incendis, tant perquè triga molt a construir nova biomassa com perquè sovint té lloc una degradació del sòl, especialment si hi ha sobreexplotació durant els períodes secs o si hi ha recurrència dels incendis. Es facilita així l'erosió i, en casos extrems, es pot arribar a la desertització, un problema present ja en zones on els sòls dels ecosistemes degradats són incapaçs de retenir l'aigua proporcionada per les tempestes ocasionals i extremes de la tardor, les quals provoquen avingudes i més erosió.

En qualsevol cas, les prediccions de la condició dels ecosistemes mediterranis en les dècades vinents requereixen un millor coneixement, d'una banda, de les respostes d'aquests ecosistemes als canvis climàtics i, de l'altra, de prediccions regionalitzades del clima i usos del sòl. Això encara és lluny de ser disponible a causa de les inherents variabilitat i imprevisibilitat del sistema climàtic a escala regional. Convindrà també recordar que és molt probable que



**S'ha de tenir en compte que les onades de calor que probablement patirem tindran l'impacte més greu en la població urbana, sobretot en la gent gran o malalta**

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 preveure que, si les coses continuen com ara, a les properes dècades és fàcil que hi hagi més ecosistemes en fases successional primerenques amb menys complexitat ecològica.

**I és clar, l'escalfament també afecta els humans, una espècie especial, però una espècie més.**

Ens podem preguntar finalment si nosaltres, els humans, també notem el canvi climàtic. El canvi climàtic ens afecta en la mesura que afecta els ecosistemes i l'entorn en què vivim, com una espècie més, especial, però una més. Ens afecta de manera diversa, com hem vist que també passa a les diferents espècies de plantes i animals, depenent de la nostra exposició, sensibilitat i capacitat d'adaptació. Per tant, l'efecte varia amb la nostra localització geogràfica i les nostres condicions socials, econòmiques i ambientals. Com sempre, els més perjudicats són els països més pobres. D'una banda, perquè les seves economies depenen majoritàriament d'activitats com l'agricultura, que són especialment sensibles al canvi climàtic. D'altra banda, perquè tenen poca capacitat d'adaptar-se a canvis com l'augment del nivell del mar o la sequera, i, a més, no tenen recursos sanitaris adequats per poder reduir el risc creixent de malalties relacionades amb el canvi climàtic, com la malària.

Dins de la rica Europa, les zones mediterrànies o les regions àrtiques semblen les més vulnerables. Els ciutadans més afectats són els que tenen les activitats més sensibles al clima (agricultors, forestals, hotelers o pescadors, per exemple), i aquells que viuen en deltes, àrees costaneres o petites illes amb un risc superior de patir inundacions i de desplaçaments per pujada del nivell del mar i per les inundacions. Aquí, al nostre país, disminueix la humitat del sòl i el subministrament d'aigua, amb els conseqüents problemes per a l'agricultura, el risc d'incendis o el turisme. Les altes temperatures i les onades de calor poden afectar les tradicionals destinacions turístiques de l'estiu, i les condicions menys segures de neu a les estacions d'esquí poden fer malbé el nostre turisme hivernal. Només com a exemple, els agricultors veuen i veuran com l'escalfament afecta la idoneïtat dels conreus que practiquen a les seves terres, el potencial de collita, la durada

de l'estació de creixement, el risc de gelada, l'epidemiologia de les plagues, la distribució i quantitat dels tractaments amb pesticides, la qualitat dels productes...

Els aspectes sanitaris no romanen aliens al canvi climàtic. Per exemple, com que s'avança l'aparició del pol·len i n'augmenta la producció, s'accentuen les al·lèrgies. També sembla que s'incrementa el nombre de persones exposades a la transmissió de malalties els vectors de les quals són sensibles a l'escalfament. Entre aquestes destaquen la malària i el dengue, però sense oblidar l'encefalitis transmesa per mosquits, la leishmaniosi o el còlera. També s'ha de tenir en compte que les onades de calor que probablement patirem tindran l'impacte més greu en la població urbana, sobretot en la gent gran o malalta. Per contra, uns hiverns més curts i més suaus sembla que han de disminuir la mortalitat hivernal.

Tots aquests exemples ens recorden que és molt probable que el canvi climàtic afecti el benestar dels ciutadans, la distribució de la riquesa i les oportunitats de desenvolupament. I com que això preocupa, o almenys hauria de preocupar la societat, s'han d'endegar polítiques i pràctiques ciutadanes que ajudin a minvar aquest progressiu escalfament i les conseqüències que comporta. De ben segur aquestes iniciatives quedaran recollides en altres articles d'aquest volum.

**Estudis en el temps i l'espai**

Per conèixer millor en quin grau s'alteren el funcionament i l'estructura dels ecosistemes mediterranis, són necessaris nous estudis, les condicions experimentals dels quals s'apropin tant com sigui possible a les naturals, i s'han d'aprofitar els avenços tecnològics per aplicar-los a les diferents escales temporals i espacials que ens donin una idea de l'abast de l'alteració dels processos.

Els estudis paleoecològics de testimonis sedimentaris ens mostren els canvis ecosistèmics associats als canvis climàtics d'èpoques passades com l'holocè recent. Destaquen 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 5000-6000 anys, especialment evident en zones àrides i càlides com les del sud de la península Ibèrica o més a prop de nosaltres, a Menorca i Mallorca <sup>13</sup>.

Els estudis d'èpoques més properes, els darrers segles, duts a terme amb materials d'herbari recol·lectats als Països Catalans han mostrat canvis en la fisiologia de la vegetació produïts en els tres darrers segles en paral·lel als canvis atmosfèrics i climàtics. S'ha comprovat per exemple que en aquest període la densitat estomàtica ha disminuït en un 21 % i la discriminació del C<sup>13</sup> en un 5,2 % en el conjunt de catorze espècies estudiades, fet que indica una possible adaptació a les condicions més càlides i àrides de l'actualitat mitjançant una eficiència superior en l'ús de l'aigua.

A part d'experimentar en condicions tan naturals com sigui possible i d'emprar eines paleoecològiques i històriques, els estudis del canvi global i dels seus efectes requereixen anar ascendint successivament en l'escala espacial des de la fulla fins a 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 depenent tant del tipus de material com del seu estat <sup>14</sup>. 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 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 mesurar nanòmetre a nanòmetre i aportar així informació sobre el contingut hídric i la fisiologia de la vegetació <sup>14</sup>. Tot això és especialment interes-

sant, per exemple, per a l'estudi dels ecosistemes mediterranis, amb la biomassa foliar verda tot l'any. Les noves eines ens permeten apreciar 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. Així doncs, convé no desaproveitar les noves possibilitats tecnològiques obertes en el camp de la teledetecció per estudiar l'estructura i el funcionament dels ecosistemes mediterranis i els canvis que es vagin produint en resposta als canvis climàtics, i també en resposta a altres components del canvi global com ara els canvis en els usos del sòl.

#### Instal·lats en el canvi

El nostre planeta, com tots els altres, està instal·lat en el canvi, un canvi que en moltes ocasions durant la història de la Terra ha estat espectacular, més que no pas el que ara coneixem com a canvi global. De tota manera, molts d'aquests grans canvis s'han produït a escala geològica, moltes vegades de milions d'anys, mentre que l'actual és dels especials perquè és un canvi accelerat que s'està produint en poques dècades <sup>1</sup>. I és important recordar que tots els canvis descrits en aquestes darreres dècades han tingut lloc amb un escalfament que és només un terç o menys del previst per al segle que ve. Els models climàtics no són perfectes, però la quasi unanimitat de tots ells i el camí que estan seguint les temperatures fins ara, fan tómer que poden ser encertats. És cert que haurem d'esperar a veure què ens porten els propers anys, i fins i tot podria arribar a passar que els models fallessin d'alguna manera (la màquina climàtica i la vida són immensament complexes, no lineals), però seria com a mínim poc intel·ligent esperar, sense actuar, a veure si la calor, la sequera i les pluges torrencials desertitzen les nostres terres o la mar engoleix el Delta. ●

#### Referències

- <sup>1</sup> Peñuelas, J. 1993. *El aire de la vida (una introducción a la ecología atmosférica)*. Pàgines 260. Ariel, Barcelona.
- <sup>2</sup> IPCC. 2001. *The Scientific Basis. Third Assessment Report of Working Group I*, A. J. T. Houghton, D. Yihui, et al. editors, (Cambridge Univ. Press, Cambridge).
- <sup>3</sup> Peñuelas, J., I. Filella, i P. Comas. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952-2000. *Global Change Biology* 8: 531-544.
- <sup>4</sup> Piñol, J., J. Terradas, i F. Lloret. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change* 38: 345-357.
- <sup>5</sup> Peñuelas, J. i I. Filella. 2001. Phenology: Responses to a warming world. *Science* 294: 93-795.
- <sup>6</sup> Peñuelas, J., I. Filella, F. Lloret, J. Piñol i D. Siscart. 2000. Effects of a severe drought on water and nitrogen use by *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*. *Biologia Plantarum* 43: 47-53.
- <sup>7</sup> Terradas, J. 1996. *Ecología del foc*. Proa, Barcelona.
- <sup>8</sup> Peñuelas, J. i J. Llusà. 2001. The complexity of factors driving volatile organic compound emissions by plants. *Biologia Plantarum* 44: 481-487.
- <sup>9</sup> Peñuelas, J., I. Filella, J. Llusà, D. Siscart, J. Piñol. 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* 49: 229-238.
- <sup>10</sup> Peñuelas, J., F. Lloret, R. Montoya. 2001. Drought effects on Mediterranean vegetation and taxa evolutionary history. *Forest Science* 47: 214-8.
- <sup>11</sup> Peñuelas, J., M. Boada. 2002. *Biomes shift in the Montseny mountains in response to climate change*. *Global Change Biology*, submitted.
- <sup>12</sup> Parmesan, C., N. Ryrholm, C. Stefanescu, J. K. Hill, C. D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kaila, J. Kullberg, T. Tammaru, W. J. Tennent, J. A. Thomas, i M. Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579-583.
- <sup>13</sup> Peñuelas, J. 2001. *Cambios atmosféricos y climáticos y sus consecuencias sobre el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas terrestres mediterráneos*. AEET, CSIC Press. *Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional*. Granada, p. 423-455.
- <sup>14</sup> Peñuelas, J., I. Filella. 1998. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in Plant Science* 3: 151-156.