

B5. Agricultura i silvicultura

Maria Teresa Sebastià
Pere Casals
Glòria Domínguez
Lluís Martín
Joan Costa

Maria Teresa Sebastià és professora de Botànica a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida i responsable de l'Àrea d'Ecologia Vegetal i Botànica Forestal del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Ha estat professora visitant a la Universitat de Harvard i a l'University College a Dublín. Va realitzar la seva tesina i la tesi doctoral en Botànica a la Universitat de Barcelona, amb el Dr. Josep Vigo, sobre l'estructuració de les comunitats vegetals i dels factors ambientals a les fagedes i els prats subalpins, respectivament. Va realitzar un postdoctoral amb el professor Bazzaz, a la Universitat de Harvard, sobre la resposta d'herbàcies al CO₂ elevat, la disponibilitat de nutrients i el canvi climàtic.

La seva recerca inclou estudis sobre la relació sòl-planta en comunitats pastorals, la relació entre biodiversitat i funcionament dels ecosistemes en els sistemes agrosilvopastorals i l'efecte del tipus de gestió sobre les comunitats vegetals en el context del canvi climàtic, tant en prats com en boscos. Té experiència en prats de muntanya freds-temperats als Pirineus i en les sabanes tropicals de l'Àfrica Occidental. Ha treballat a fagedes i boscos mixtos freds-temperats dels Pirineus, la Terra del Foc i Bòsnia, i en ecofisiologia d'espècies llenyoses tropicals a Barro Colorado Island (Panamà), en col·laboració amb la Smithsonian Institution. Actualment coordina diversos projectes nacionals i europeus sobre gestió de pastures, acumulació de carboni i biodiversitat. És la coordinadora del Grup de Treball 2 de l'acció europea integrada COST 852 *Quality legume-based forage systems for contrasting environments*.

Pere Casals Tortras (Balaguer, 1963) és biòleg. Actualment és investigador del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, especialitzat en les relacions sòl-planta i en els cicles del carboni i nitrogen. La seva activitat de recerca analitza la interacció entre els elements del canvi climàtic i del canvi d'ús del sòl sobre la dinàmica de la matèria orgànica i l'ús dels nutrients per a la vegetació. Com a investigador visitant ha estudiat diverses tècniques de treball amb isòtops estables al Scottish Crop Research Institute (Dundee, Escòcia) i al departament de Botànica de la Western Australian University (Nedlands, Austràlia). Fruit de la seva participació en diversos projectes europeus i estatals sobre canvi climàtic i el cicle del carboni ha publicat diversos articles científics en revistes d'impacte. Actualment, participa en diferents grups de discussió i xarxes de treball europees i catalanes (COST 852, COST 627, Xarxa Alinfo).

Glòria Domínguez Torres (Badalona, 1971) és enginyera de forests per la Universitat de Lleida i enginyera tècnica agrícola per l'Escola d'Agricultura de Barcelona. És responsable de l'Àrea de Política Forestal i Desenvolupament Rural del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Ha treballat en la redacció del *Pla General de Política Forestal de Catalunya* i està fent el doctorat en el Programa de Ciències Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Agricultura i silvicultura Maria Teresa Sebastià, Pere Casals, Glòria Domínguez, Lluís Martín i Joan Costa

El seu àmbit d'interès està a l'entorn de la planificació forestal regional i la relació entre la societat i els espais forestals, i participa en projectes i xarxes de recerca a escala europea i estatal. Darrerament ha desenvolupat treballs sobre planificació forestal regional, indicadors de gestió forestal sostenible, opinions i percepcions sobre els espais forestals com a eina per al desenvolupament rural, i l'anàlisi de l'estructura socioeconòmica de la propietat forestal, entre altres.

Lluís Martín Closas (Barcelona, 1964) és enginyer agrònom (1992) i enginyer tècnic en Hortofructicultura i Jardineria (1987) per la Universitat Politècnica de Catalunya. És professor d'Horticultura de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida i coordinador de la Unitat d'Horticultura. Imparteix docència en les assignatures de Producció i Gestió Hortícola, Horticultura i Agricultura Sostenible i Agricultura Ecològica.

El seu àmbit d'interès està a l'entorn del desenvolupament vegetal i la seva aplicació en l'aplicació de tecnologies agràries sostenibles, en sistemes agraris intensius (hortícoles). La seva activitat la desenvolupa en l'estudi en sistemes experimentals amb aproximació progressiva, des dels més controlats (sistemes de cultiu *in vitro*) i mitjanament controlats (sistemes en hivernacle) fins als sistemes experimentals de camp. Ha realitzat estudis de desenvolupament, sobretot relacionats amb la regulació hormonal en una gran diversitat d'espècies hortícoles. Actualment està en fase de redacció de la seva tesi doctoral sobre l'efecte i les aplicacions dels jasmonats en el desenvolupament de la patata.

Ha participat en diferents línies de recerca relacionades amb les tecnologies sostenibles, entre les quals cal destacar l'aplicació dels jasmonats com a promotors del desenvolupament i de l'ajustament a situacions d'estrès, la valoració de tecnologies de recirculació de drenats en hivernacles i l'estudi de l'ús dels plàstics biodegradables en horticultura.

Joan Costa Tura (Mollet del Vallès, 1958) és doctor enginyer agrònom per la Universitat Politècnica de Catalunya i Ph.D. en fisiologia vegetal per la Universitat de Londres. Actualment és professor titular de Fructicultura a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida.

La seva línia d'investigació se centra en temes relacionats amb la fisiologia ambiental aplicada als fruiters, especialment la pomera i l'olivera. Ha treballat en aspectes relacionats amb la intercepció de la radiació i la mesura de la fotosíntesi, tant a nivell de fulla com d'arbre sencer, sobretot amb la seva interacció amb les tècniques culturals, com per exemple l'aclarida de fruits i en fenòmens meteorològics com les gelades. Actualment és responsable d'un projecte de divulgació (Equal) de la Unió Europea sobre producció integrada i ecològica. Participa en la xarxa europea EUFRIN, dins del grup de treball sobre aclarida de fruits. Ha participat en la publicació de tres llibres i en cinc articles científics.

Com a professor del Departament d'Hortofructicultura, Botànica i Jardineria imparteix docència relacionada amb la producció fructícola en primer i segon cicle. A tercer cicle la docència està més relacionada amb la fisiologia ambiental; hi coordina dues assignatures de postgrau i participa en un curs d'especialització.

Síntesi	371
B5.1. Introducció	375
B5.2. Amenaces del canvi climàtic per a l'agricultura i la silvicultura catalanes	376
B5.2.1. Les activitats agràries i el clima	376
B5.2.2. Escalfament i canvis en el cicle de l'aigua	378
B5.2.3. Gasos amb efecte d'hivernacle: CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	379
B5.2.4. Contaminació i canvis químics atmosfèrics: O ₃ , NH ₃	381
B5.2.5. El context socioeconòmic	382
B5.3. Impactes del canvi climàtic sobre l'agricultura i la silvicultura	383
B5.3.1. Productivitat dels sistemes agrícoles i silvícoles	383
B5.3.2. Erosió i cicle hidrològic	383
B5.3.3. Els cicles del carboni, del nitrogen i d'altres nutrients	383
B5.3.4. Embornals de carboni	384
B5.3.5. Capacitat d'invasió, malalties i plagues	386
B5.4. Vulnerabilitat i adaptació dels principals sistemes agrícoles i silvícoles a Catalunya	388
B5.4.1. Cereals	388
B5.4.2. Conreus hortícoles i en hivernacle	388
B5.4.3. Cultius llenyosos	392
B5.4.4. Farratgeres	393
B5.4.5. Prats de muntanya	395

Agricultura i silvicultura Maria Teresa Sebastià, Pere Casals, Glòria Domínguez, Lluís Martín i Joan Costa

B5.4.6. Altres sistemes pastorals	397
B5.4.7. Ramaderia	399
B5.4.8. Pesqueries	399
B5.4.9. Silvicultura	400
B5.5. Observacions finals: reptes i oportunitats per a l'agricultura i la silvicultura catalanes en el context del canvi climàtic	406
B5.6. Agraïments	407
Referències bibliogràfiques	408

Síntesi

El clima és un factor determinant de la producció agrària i, per tant, calen uns coneixements sòlids sobre l'efecte que els factors climàtics tenen sobre la productivitat de boscos i conreus per tal d'optimitzar-ne el maneig, en qualsevol escenari climàtic que es produeixi. En el cas d'ecosistemes com els boscos i les pastures, a més de la productivitat, cal també considerar la seva persistència i capacitat de generar béns i serveis ecològics sota unes condicions climàtiques canviant.

Els tipus de resposta davant del canvi climàtic varien segons les espècies agrícoles i forestals i les varietats d'un mateix conreu. Això s'ha observat en casos d'estrès causat per les temperatures elevades i la sequera, en el grau de resposta sostinguda i d'aclimatació a l'augment del CO₂ a l'atmosfera i en la vulnerabilitat a l'increment en la concentració d'O₃.

L'augment de la temperatura pot conduir a l'increment de la mineralització de la matèria orgànica dels sòls forestals i agrícoles a curt termini i, a la llarga, a una disminució de la disponibilitat de nutrients al sòl, fet que es pot aguditzar si es produeix un augment de la relació C/N de la matèria que retorna al sòl, a causa d'un augment del CO₂ atmosfèric. L'efecte de l'escalfament sobre la mineralització està afectat també de manera important per la disponibilitat d'aigua.

L'amenaça més gran per a l'agricultura i la silvicultura catalanes és la disminució de la disponibilitat d'aigua, amb l'augment de l'evapotranspiració com a conseqüència de l'increment de les temperatures i la possible reducció de les pluges. Si es garanteix el subministrament de reg, alguns cultius poden, fins i tot, augmentar la seva productivitat. Aquest és un tema, però, complex i, a més, el subministrament d'aigua per a usos agrícoles competeix amb altres usos (domèstics, industrials, turístics, cabals ecològics, etc.).

La disminució d'hores de fred pot conduir a una davallada de la producció de cultius llenyosos com la pomera, la perera, el cirerer i el presseguer en zones tradicionalment fruteres com la Plana de Lleida. Un canvi varietal en espècies com el presseguer pot solucionar el problema, però per a pomes i peres el risc és més gran. Si la pujada de temperatures produeix un avançament de la floració i el risc de gelades es manté, la incertesa en la producció augmentarà. Si el risc de gelades disminueix, es poden introduir varietats més primerenques de presseguers o albercoquers, de qualitat i producció més baixes però de preu de venda més alt. També es pot introduir el cultiu del nesprer i ampliar el cultiu de cítrics, amb la possible introducció, si l'augment de temperatures i davallada del risc de gelades és prou important, de la mandarina i el llimoner.

La reducció del risc de gelades hivernals també afavoriria altres conreus llenyosos de secà, com l'olivera, amb la reducció del risc de pèrdua de collita i una necessitat més baixa de reposició. Ara bé, la reducció de la disponibilitat hídrica serà crítica en les zones de secà, i faria disminuir la productivitat de cultius com l'olivera, l'ametller o la vinya. L'efecte del canvi climàtic sobre la vinya probablement depèn d'efectes microclimàtics particulars, ja que l'augment de les temperatures en podria millorar la qualitat. També s'espera un desplaçament cap al nord de les zones de cultiu d'aquesta planta.

L'augment de l'estrès hídric també serà molt important per a altres cultius de secà, com els cereals, en zones ara ja relativament àrides. En canvi, el seu cultiu podria estendre's en àrees de secà actualment més humides, com el Berguedà.

Actualment, les comarques septentrionals catalanes tenen, en la bona disponibilitat d'aigua, un factor de riquesa productiva. No obstant això,

amb les previsions de canvi climàtic poden produir-se canvis importants ja que, d'una banda, una pujada de les temperatures pot incrementar la productivitat, però de l'altra una reducció de la disponibilitat hídrica pot incrementar la necessitat de reg o aconsellar un canvi cap a cultius amb menys requeriments hídrics. Aquestes transformacions poden ser difícils en les zones d'orografia complexa però, precisament, aquest factor orogràfic pot fer que les pressions de canvi variïn molt a escala local.

Els cultius hortícoles, tant per la seva gran diversitat en espècies i varietats com pel fet que es produeixen sota molts sistemes diferents de producció, poden tenir una capacitat de resposta als canvis climàtics més elevada. Els cicles productius s'escurçaran, amb la conseqüent disminució de la producció, però sobretot es pot produir un efecte de detriment de la qualitat d'algunes hortalisses d'estació freda i un possible guany en hortalisses d'estació càlida. L'increment en la capacitat d'avançar les seves produccions i poder participar en un mercat més favorable és un fet de gran importància econòmica per als productors. Els problemes tèrmics principals es poden produir sobretot a l'estiu en les zones més continentals, així com a la zona litoral, sobretot en cultius en hivernacle, on els problemes de refrigeració augmentaran. L'increment del CO₂ atmosfèric augmentarà la productivitat de la majoria de cultius, com ja s'ha demostrat amb moltes espècies hortícoles. Tots els avantatges que pot comportar el canvi climàtic per als sistemes hortícoles poden no tenir cap impacte si no s'assegura la disponibilitat hídrica. La no disponibilitat d'aigua podria ser el principal factor negatiu.

Les solucions als factors negatius del nou marc productiu plantejat pel canvi climàtic passaran per un replantejament varietal i específic (nous cultius), així com canvis en les èpoques de plantació o sembra i canvis d'ubicació de les zones de producció. Les innovacions tecnològiques hauran d'aportar noves solucions, especialment pel que fa referència al control d'altres tempera-

tures i a la millora de l'eficiència hídrica de les tècniques aplicades als cultius. També la Política Agrària Europea ha de considerar les conseqüències del canvi del clima i pot ser un instrument estimulador de les mesures d'adaptació. El risc és la limitació de les opcions de resposta davant d'aquests canvis.

L'augment de la cabana ramadera catalana en les dues darreres dècades ha estat força elevat (amb una taxa del 45% pel que fa als remugants, per exemple). Això representa un problema a l'hora de tractar i gestionar els residus, però pot constituir una oportunitat per a la producció de biogàs. L'addició de residus fàcilment metabolitzables al sòl, com els purins, pot augmentar les emissions de gasos nitrogenats, però si els purins s'injecten a l'interior del sòl, les emissions es poden reduir, tot i que llavors existeix un risc de contaminació de les aigües freàtiques.

Amb el canvi climàtic s'estima un augment de la invasió dels conreus i el bestiar per les plagues i les malalties, moltes de les quals actualment tenen una distribució limitada per les baixes temperatures i el risc de gelades. L'impacte sobre les males herbes dependrà de les espècies concretes i del cultiu, així com de les característiques ecofisiològiques i competitives d'aquests. L'increment del CO₂ a l'atmosfera podria fer augmentar la resistència del vegetal a plagues i malalties per l'increment de la producció de productes secundaris, però l'augment de la relació C/N del material vegetal resultant podria estimular-ne el consum i empitjorar la qualitat de la matèria orgànica al sòl i amenaçar la disponibilitat de nutrients.

Els efectes del canvi climàtic sobre l'agricultura són incerts, variats i complexos, i presenten interaccions entre ells i amb factors culturals, polítics i socioeconòmics, entre els quals destaquen l'abandonament de les activitats agràries i els canvis en l'ús del sòl, els quals poden tenir unes repercussions tan o més grans que el canvi climàtic. La reducció de terres de cultiu i boscos per urbanització és molt forta en certes zones, sobretot a

prop de les àrees metropolitanes més grans. L'abandonament de terres, en altres zones, condueix a la pèrdua de la biodiversitat, la reducció de la qualitat del paisatge i l'augment del risc d'incendis. En canvi, el pas de conreu a bosc podria incrementar l'embornal de carboni. La competència dels productes agrícoles catalans amb països que fins ara n'eren un mercat natural, a causa de la millora de les condicions productives d'aquests, és un altre risc.

A Catalunya, els prats i els boscos constitueixen un reservori de biodiversitat i proporcionen una font de diversos productes, així com d'externalitats. El maneig extensiu tradicional de les pastures ha modelat el seu valor ecològic, paisatgístic i cultural. Els prats d'alta muntanya, com els boscos de muntanya, són ecosistemes molt amenaçats pel canvi climàtic i l'abandonament. L'escalfament pot tenir un efecte positiu sobre la seva productivitat a curt termini, però l'amenaça d'extinció d'espècies i de pèrdua de la qualitat de la biodiversitat és ben real. Els boscos i les pastures presenten un valor afegit en la mitigació del canvi climàtic gràcies a llur funció com a embornals de carboni al sòl. Cal saber més, però, sobre la relació entre el maneig d'aquests ecosistemes i la seva capacitat d'acumular C.

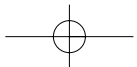
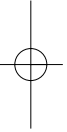
El principal valor dels boscos catalans rau en els productes que no tenen un valor directe de mercat i en les externalitats, com ara la biodiversitat, la protecció enfront dels riscos naturals i la regulació hídrica. A més, abasteixen el mercat de gran varietat de productes. Actualment, els productes fusters no són gaire competitius en els mercats internacionals, i les perspectives apunten a un empitjorament amb el canvi climàtic. Els productes no fusters proporcionen un volum econòmic no menyspreable, però el seu aprofitament és heterogeni i està poc regulat. Amb el canvi climàtic pot produir-se una disminució de la producció de bolets, però una millora en la qualitat de plantes medicinals i aromàtiques i en producció de mel i d'altres productes apícoles.

L'ampla escala temporal amb què es gestionen els boscos, amb torns de 80-120 anys segons l'espècie i la zona, implica que el canvi climàtic tindrà lloc, en general, en les masses arbòries que hi ha en aquests moments. A més llarg termini, però, podria produir-se un canvi en la distribució de la vegetació dels boscos. Aquests canvis seran més ràpids per a les espècies de cicle de vida més curt. Les zones baixes i meridionals s'enriquirien en plantes de matollars, i el bosc mediterrani pujaria per les zones de muntanya. Els boscos de muntanya tendirien a enrarir-se.

Les comunitats silvícoles tenen més resistència als canvis que altres comunitats vegetals més efímeres, però aquesta capacitat de tamponar els canvis pot desaparèixer si el bosc és destruït per perturbacions a gran escala, com els grans incendis ocorreguts els darrers anys. En aquest cas, les diferències en la capacitat de regeneració de les diferents espècies i la seva vulnerabilitat relativa enfront a l'estrès hídric i d'altres pot determinar canvis importants en la composició i funcionalisme dels boscos catalans.

A Catalunya, el principal risc per als boscos és el foc, perturbació sovint causada per la pressió antròpica. El canvi climàtic comportarà un augment del risc d'incendi a les zones mediterrànies i una ampliació de les zones d'alt risc cap a llocs on ara el risc és més baix. La sequera, l'abandonament de les zones rurals, que podria augmentar al secà si disminueix la productivitat i la competitivitat dels productes agrícoles, la previsió de boscos joves i densos i la reducció en el grau de gestió forestal per davallada de la rendibilitat dels aprofitaments fusters n'incrementarien la vulnerabilitat.

En resum, per a l'agricultura l'adaptació al canvi climàtic passa per la planificació d'una política de l'aigua coherent amb les noves condicions, la potenciació de sistemes d'irrigació més eficients, el canvi en la gestió dels cultius, el canvi de dates de plantació i de pràctiques de cultiu, així com la selecció de cultius adaptats a les noves pràctiques.



B5.1. Introducció

La informació disponible dels possibles efectes del canvi climàtic sobre l'agricultura i la silvicultura catalanes és dispersa i escassa i, a més, està distribuïda de manera heterogènia entre els diferents camps de coneixement. Mentre en algunes àrees els coneixements són escassos, en d'altres es comença a tenir una base de dades consistent sobre el comportament dels boscos i d'altres ecosistemes d'interès agrari. Aquest capítol fa paleses aquestes diferències i, mentre en algunes àrees la discussió es basa en dades generades directament a partir d'estudis desenvolupats a Catalunya, en d'altres la informació oferta és molt fragmentària i basada en patrons observats en d'altres zones del món.

El canvi climàtic es produeix paral·lelament a d'altres canvis d'abast global que afecten profundament els ecosistemes agrícoles, pastorals i forestals, com els canvis en els usos del sòl i els canvis atmosfèrics. Tots ells interfereixen els uns amb els altres de manera complexa, fet que s'ha tingut en compte a l'hora de desenvolupar el present capítol sobre el canvi climàtic i l'agricultura i la silvicultura catalanes.

A Catalunya, l'any 2000 les activitats agràries van proporcionar una producció final total de 3.639,70 milions d'euros. Aquestes activitats inclouen la producció agrícola, ramadera i forestal, fonamentalment. La Superfície Agrícola Utilitzada (SAU) representa gairebé la meitat de la

superfície agrària total, seguida per la superfície forestal arbrada (figura B5.1). Tanmateix, les produccions agrícoles i ramaderes són les que més volum econòmic mouen, amb diferència respecte de les forestals (figura B5.2).

A Europa, un 47% del territori està ocupat per les terres agrícoles (cultius i pastures). Un 29% d'aquestes darreres corresponen a terrenys cultivats, un 12% dels quals està sota irrigació (Reilly, 1997). A Catalunya la proporció de la superfície agrària destinada a terres de cultiu és molt més elevada (figura B5.1), malgrat la davallada experimentada els darrers anys a favor de les zones de pastures permanents (taula B5.1; figura B5.3).

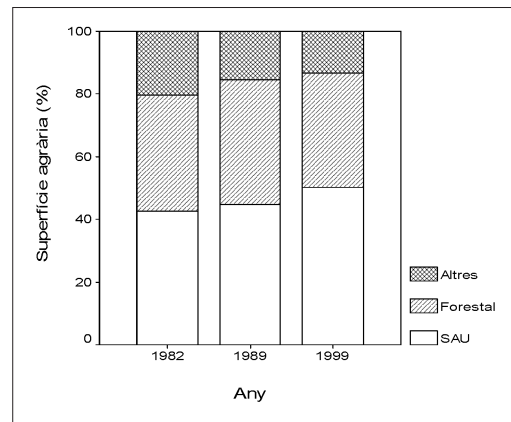


Figura B5.1. Proporció de la superfície agrària destinada a Superfície Agrària Utilitzada (SAU), superfície forestal arbrada i d'altres usos (anys 1982, 1989 i 1999).

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

Agricultura i silvicultura Maria Teresa Sebastià, Pere Casals, Glòria Domínguez, Lluís Martín i Joan Costa

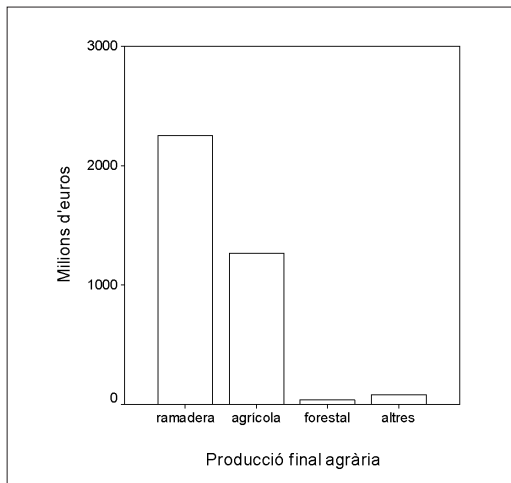


Figura B5.2. Milions d'euros generats a partir de la producció final agrària en els sectors ramader, agrícola, forestal i altres produccions (any 2000).

Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Direcció de Serveis.

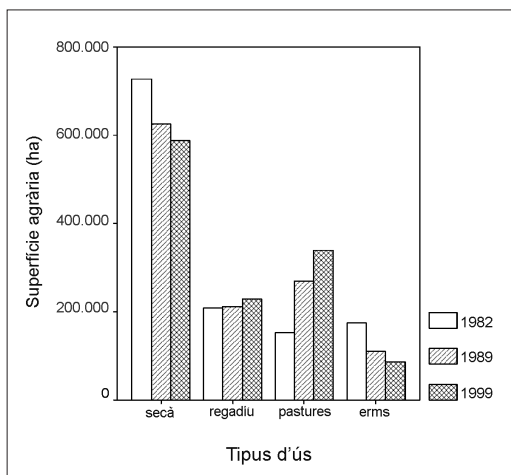


Figura B5.3. Evolució temporal de la superfície (en hectàrees) ocupada en Catalunya per conreus de secà, regadiu, pastures i erms (anys 1982, 1989 i 1999).

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

De les terres agrícoles, els cultius de secà ocupen, amb diferència, una superfície més gran que qualsevol altre tipus d'ús agrícola (figura B5.3). La superfície dedicada a regadiu ocupa al voltant d'un terç de la superfície de l'anterior, però l'activitat econòmica derivada dels conreus de regadiu

(com sovint es troben la fruita dolça, les hortalisses i les farratgeres) és molt elevada amb relació a altres sistemes de producció (figura B5.4).

El canvi climàtic representa reptes i oportunitats per a les activitats agrícoles, ramaderes, pesqueres i silvícoles a Catalunya. En els apartats següents es presenten les amenaces que els canvis en els diferents factors ambientals i socioeconòmics presenten a les activitats esmentades, els impactes que aquests mateixos factors poden tenir sobre els ecosistemes agrícoles i forestals des del punt de vista del seu aprofitament i conservació i, finalment, la vulnerabilitat i capacitat d'adaptació que els sistemes agraris catalans presenten enfront d'aquests factors de canvi.

B5.2. Amenaces del canvi climàtic per a l'agricultura i la silvicultura catalanes

B5.2.1. Les activitats agràries i el clima

El clima és un dels factors determinants de la producció agrària i, per tant, des de sempre s'ha considerat essencial 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 el maneig de les activitats agràries no tant sols en el moment actual, sinó també en el futur, sota qualsevol escenari climàtic (Gates, 1993). 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'aliment (Reddy i Hodges, 2000).

En conjunt, els efectes del canvi climàtic sobre l'agricultura són incerts, variats i complexos i presenten moltes interaccions entre ells i amb d'altres factors culturals, polítics, socioeconòmics, etc. Recíprocament, les activitats agràries poden tenir repercussions directes sobre alguns elements del canvi climàtic. Per exemple, a nivell mundial s'estima que l'agricultura i la ramaderia representen la font del 30% de les emis-

	Hectàrees					
	Any 1982	%	Any 1989	%	Any 1999	%
Conreus llenyosos	360.056	38,4	324.456	38,8	301.204	36,9
fruiters	140.828	15,0	164.296	19,6	122.253	15,0
fruita dolça	57.456	6,1	58.521	7,0	48.470	5,9
fruita seca	82.902	8,9	105.637	12,6	73.626	9,0
tropical/altres	470	0,1	138	-	157	-
cítrics	3.332	0,4	5.543	0,7	8.231	1,0
olivera	77.932	8,3	88.023	10,5	102.781	12,6
vinya	70.198	7,5	60.279	7,2	59.734	7,3
planters	369	-	488	0,1	1.145	0,1
altres	67.397	7,2	5.827	0,7	7.060	0,9
Conreus herbacis	576.672	61,6	512.544	61,2	515.827	63,1
conreus	549.818	58,7	492.290	58,8	486.802	59,6
cereals	400.989	42,8	361.018	43,1	351.094	43,0
farratges	110.631	11,8	101.408	12,1	99.751	12,2
hortalisses	20.987	2,2	16.089	1,9	10.224	1,3
lleguminoses	2.429	0,3	1.932	0,2	2.207	0,3
tubercles	4.255	0,5	3.036	0,4	1.432	0,2
industrials	6.999	0,7	7.146	0,9	20.372	2,5
flors i plantes	1.014	0,1	1.090	0,1	1.163	0,1
altres	2.514	0,3	571	0,1	559	0,1
guarets	26.854	2,9	19.909	2,4	28.722	3,5
hortes familiars	-	-	346	-	303	-
Total	936.728	100	837.000	100	817.031	100

Taula B5.1. Evolució de la superfície de terres llaurades a Catalunya, per tipus de conreu (anys 1982, 1989 i 1999)

Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

sions de CO₂, el 40% de les emissions de CH₄ i el 25% de les emissions de N₂O, tres importants gasos amb efecte d'hivernacle (Sombroek i Gommès, 1997). Les principals fonts d'aquests gasos en l'agricultura provenen de l'ús dels combustibles fòssils en les activitats agrícoles, la mineralització de la matèria orgànica dels sòls associada al llaurat, la crema de residus agrícoles i forestals, la cria de bestiar i el maneig de les femtes, l'ús de fertilitzants nitrogenats, entre d'altres (Reddy i Hodges, 2000). A Catalunya s'estima

que les emissions corresponents a les activitats agrícoles constitueixen un 12% del total (Baldasano et al.; vegeu el capítol A5). No obstant això, l'agricultura també pot ser una part de la solució o, si més no, de la mitigació d'un possible canvi climàtic (Deudon, 2001). L'adopció de pràctiques de conreu que afavoreixin l'acumulació de matèria orgànica al sòl i la restauració de sòls degradats pot reduir l'alliberament de CO₂ a l'atmosfera i ajudar a la seva captació en embornals poc dinàmics (Lal et al., 1998).

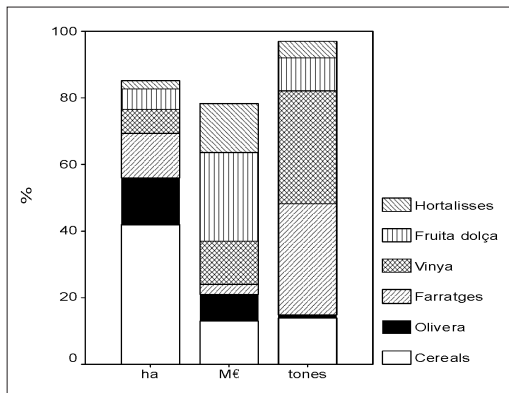


Figura B5.4. Percentatge de territori ocupat pels principals tipus de conreus de Catalunya, en funció de la superfície cultivada (ha), la producció final en milions d'euros generats (M€) i la producció agrària (en tones). L'olivera inclou tant les olives com l'oli; la vinya inclou tant el raïm com el vi i d'altres derivats.

Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Direcció de Serveis.

Algunes de les amenaces del canvi climàtic que s'han citat per a l'agricultura i que poden tenir rellevància per a les activitats agrícoles catalanes són (Sombroek i Gommès, 1997, Miglietta et al., 2000):

- Modificacions de les condicions generals dels factors de producció, com la temperatura, la disponibilitat d'aigua, la disponibilitat de nutrients, etc., la qual cosa pot portar a un empitjorament de les condicions de creixement.
- Canvis en el potencial productiu dels cultius com a conseqüència de l'augment de l'estrès produït per altes temperatures o per l'allargament del període lliure de gelades.
- Reducció de la productivitat per augment de l'aridesa en les regions seques.
- Reducció del creixement a causa de la disminució de la disponibilitat hídrica o les deficiències de nutrients.
- Augment de la variabilitat i de la incertesa del clima, que incrementaria els riscos de pèrdues de producció.
- Disminució de la predictabilitat general del clima, que faria més difícil la planificació a curt i mitjà termini de les activitats agrícoles.
- Augment de pèrdues de producció com a con-

seqüència de les pedregades, malalties i plagues.

- Desplaçaments de les zones agroecològiques de desenes a centenes de quilòmetres horitzontalment i centenes de metres verticalment amb el risc que determinades plantes, sobretot llenyoses de cicle de vida llarg, i alguns animals no segueixin i els sistemes agraris no s'ajustin a temps.

Un possible canvi climàtic pot agreujar les conseqüències de l'abandonament de les activitats agrícoles i forestals i dels canvis en l'ús del sòl, processos que representen un factor de canvi afegit, tant o més important que el canvi climàtic a Catalunya.

B5.2.2. Escalfament i canvis en el cicle de l'aigua

La temperatura té un efecte estimulador de tots els processos biològics, dins dels límits de funcionament. Més concretament, les plantes sota condicions d'escalfament veuen afavorit el seu funcionament i la productivitat vegetal s'incrementa directament per l'estimulació de l'activitat metabòlica i, indirectament, per la mineralització de la matèria orgànica del sòl i consegüent fertilització per augment d'alguns nutrients. Tanmateix, aquest efecte estimulador de la productivitat vegetal per la temperatura pot veure's amenaçat seriosament si no es disposa d'altres factors de producció no es troben disponibles. Per exemple, la fertilització per mineralització de la matèria orgànica pot ser un fenomen transitori que pot dur a una pèrdua del reservori de nutrients en el sistema a llarg termini. D'altra banda, part de l'augment global de temperatura s'ha relacionat amb l'augment de les temperatures nocturnes (Kukla i Karl, 1993). Aquest fet podria portar a l'increment de la respiració nocturna i, per tant, a la disminució de la productivitat neta.

Temperatures molt altes poden causar estrès en les plantes per se, tot i que diferents cultius i diferents varietats del mateix cultiu poden presentar un diferent rang de resposta a les temperatu-

res. Independentment d'aquest efecte directe de la temperatura sobre els vegetals, en general les temperatures altes afavoreixen les pèrdues d'aigua de les plantes, amb un augment, per tant, de l'evapotranspiració. Aquest efecte s'agreujaria si es produís una disminució de la precipitació a Catalunya amb el canvi climàtic, la qual cosa sembla probable, al menys en certes zones (Martín-Vide, capítol A3 d'aquest llibre). Si l'increment de les temperatures implica un augment de l'evapotranspiració, la disminució de la precipitació pot aguditzar aquest efecte.

La reducció de la disponibilitat hídrica amb l'augment de la temperatura i l'augment en la variabilitat de la precipitació (Almarza, 2000) afectaran tant els cultius de regadiu com els de secà i la resta de la superfície agrària. D'altra banda, les necessitats d'aigua són multisectorials, amb competència entre la producció d'aigua potable, industrial i hidroelèctrica, els usos ambientals i 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. Les repercussions ambientals i socioeconòmiques dels transvasaments d'aigua són molt elevades i sovint difícilment justificables. Com a conclusió, l'amenaça més important per a l'agricultura i la silvicultura catalanes, com per a tantes altres activitats desenvolupades a Catalunya, és la disminució de la disponibilitat d'aigua, i caldrà garantir-ne un ús racional que en permeti el màxim aprofitament.

B5.2.3. Gasos amb efecte d'hivernacle: CO₂, CH₄, N₂O

Al Protocol de Kyoto, els Estats membres de la Unió Europea es van comprometre a reduir sis gasos amb efecte d'hivernacle: diòxid de carboni (CO₂), òxid nitrós (N₂O), metà (CH₄), perfluorocarburs (PFC), hidrofluorocarburs (HFC) i hexafluorur de sofre (SF₆). Els tres darrers tenen un potencial d'escalament global (PEG) molt elevat i un període de permanència a l'atmosfera llarg, però en ser considerats d'origen industrial no es tractaran en aquest capítol.

L'agricultura genera, aproximadament, el 8% de les emissions totals dels tres gasos amb efecte d'hivernacle (CO₂, CH₄ i N₂O) de la Unió Europea, però representa menys del 2% de les emissions relacionades amb l'ús de l'energia (Comisión de las Comunidades Europeas, 1998). El sector agrícola, especialment la ramaderia, és la principal font d'emissions de metà i d'òxid nitrós (el 45% i el 40,3%, respectivament, de les emissions comunitàries). Però, al mateix temps, l'agricultura i la silvicultura tenen un efecte positiu en substituir els combustibles fòssils per biomassa i en reduir la concentració atmosfèrica d'aquests gasos, especialment el CO₂.

El CO₂ atmosfèric és un dels factors bàsics de la producció vegetal. La fertilització per CO₂ estimula el creixement de les plantes, tot i que amb el temps aquest efecte s'ha reduït i les plantes s'aclimaten (Dijkstra et al., 1993). El grau de resposta a l'increment de CO₂, així com la capacitat d'aclimatació amb el temps o de manteniment d'una resposta sostinguda al CO₂, varia segons les espècies i les varietats (Dijkstra et al., 1993). A més, l'augment de la productivitat en les plantes com a conseqüència d'un increment de la concentració de CO₂ no comporta necessàriament una millora en la collita. En algunes espècies de cereals, com el blat, s'ha obtingut un augment de la producció total en plantes cultivades sota atmosferes enriquides en CO₂, però una disminució del rendiment en gra.

Un altre aspecte molt important del CO₂ per a l'agricultura catalana és que presenta moltes interaccions amb d'altres factors (Peñuelas et al., 1995). Hi ha una interacció molt important entre el CO₂ i l'aigua. Se sap que l'augment del CO₂ atmosfèric condueix a un augment de l'eficiència de l'ús de l'aigua, tot i que el balanç hídric final depèn del balanç energètic del cultiu, el qual alhora depèn d'altres factors, com la conductància estomàtica, l'índex foliar, l'estructura del cultiu i els canvis en el conjunt dels factors meteorològics (Allen et al., 1997).

Els tres factors primordials del canvi climàtic que afectarien la productivitat dels cultius hortícoles (increment tèrmic, disminució del recurs hídric i increment del CO₂ de l'aire) estan relacionats i controlats pels mateixos cultius. De fet, s'estima que si es dobla la concentració ambiental de CO₂, es redueix la conductància estomàtica entre un 30 i un 40% i una exposició perllongada a elevades concentracions de CO₂ redueix la densitat d'estomes de les fulles. Mitjançant aquest mecanisme s'ha millorat l'eficiència en l'ús de l'aigua i, per tant, també la tolerància a la sequera en nombroses espècies cultivades (Bowles, 1993). L'efecte fertilitzant del CO₂ és més gran a temperatures elevades (Allen et al., 1997) i és ben coneguda la dependència entre els efectes sobre les plantes de la fertilització per CO₂ i la disponibilitat de nutrients. L'efecte estimulador del creixement del CO₂ sovint desapareix amb una baixa disponibilitat de nutrients al sòl. Per això, és interessant analitzar el canvi en la qualitat de la matèria orgànica del sòl i la seva mineralització en plantes que creixen sota CO₂ atmosfèric elevat, així com els canvis en la relació C/N del material vegetal desenvolupat sota aquestes condicions.

La matèria orgànica del sòl sovint constitueix la reserva natural de nutrients més important del sòl i la mineralització de la matèria orgànica és el procés que els posa a disposició de les plantes. Un augment de la temperatura pot conduir a la ràpida mineralització inicial de la matèria orgànica dels sòls forestals i agrícoles, de manera que a llarg termini la capacitat per subministrar nutrients d'aquesta pot minvar. Alhora, l'efecte de l'escalfament sobre la mineralització està afectat de manera important per la disponibilitat d'aigua.

Aquests efectes es poden acoblar als canvis en la qualitat de la matèria orgànica que retorna al sòl a causa d'un augment en la relació C/N com a conseqüència d'un increment del CO₂ atmosfèric. El material amb proporció de carboni més elevada és més difícil de descompondre i, per

tant, té menys capacitat de subministrar nutrients. Els canvis en la qualitat de la matèria orgànica poden ser, a llarg termini, menys marcats per les interaccions que puguin existir amb d'altres nutrients, amb l'aigua o per canvis en les espècies. D'altra banda, un material vegetal amb una relació C/N alta podria augmentar els danys per herbívors, els quals en alguns casos podrien augmentar el seu consum per tal d'obtenir un contingut de N comparable.

Un altre gas amb efecte d'hivernacle que té una relació molt directa amb les activitats agràries és el metà (CH₄), particularment amb les pecuàries. Les principals fonts d'emissions de metà a partir de l'agricultura són els processos digestius del bestiar i les seves femtes (un 45% de les emissions totals). Així, l'augment de CH₄ a l'atmosfera s'ha relacionat de manera important amb l'augment de la cabana ramadera de remugants a nivell mundial. El bestiar remugant aporta CH₄ com a conseqüència dels processos de metabolització del material vegetal que consumeix, mitjançant la digestió d'aquest aliment amb la cooperació de la flora bacteriana intestinal. Per contra, la producció de CH₄ proporciona una oportunitat en la utilització de biogàs.

L'òxid nítrós és un gas amb efecte d'hivernacle que, a més, desencadena una sèrie de reaccions que donen lloc a eliminació de l'ozó estratosfèric (Crutzen, 1991). Es produeix, principalment, a partir de processos industrials i per l'ús de fertilitzants en l'agricultura. L'emissió d'òxid nítrós des del sòl és el resultat de la nitrificació de l'N amoniacal del sòl i el procés posterior de desnitrificació. Els factors que regeixen aquests processos són la disponibilitat de carboni i nitrogen fàcilment mineralitzables, l'existència de condicions anaeròbiques al sòl i la temperatura. Les pràctiques de conreu també poden estimular aquests processos. Així, l'addició de residus al sòl fàcilment metabolitzables augmenta l'emissió d'òxid nítrós si es fa quan el sòl està molt humit o en condicions anaeròbiques. La incorporació de lleguminoses al sòl com a adob verd, en

ser un material fàcilment decomponible i ric en nitrogen, podria augmentar les emissions d'N. No obstant això, la informació relativa a aquests processos encara és limitada.

B5.2.4. Contaminació i canvis químics atmosfèrics: O₃, NH₃

L'ozó (O₃) és un gas atmosfèric que si es troba a l'estratosfera té un efecte protector de la radiació ultraviolada sobre els éssers vius, però que a les parts baixes de l'atmosfera exerceix un efecte tòxic elevat sobre plantes i animals. L'ozó, a més, interacciona amb el CO₂, tot reduint l'efecte estimulador del creixement que aquest gas té sobre els boscos (Kamosky et al., 2003). La sensibilitat a l'ozó és molt variable a nivell espacial i depèn de les espècies considerades (Peñuelas et al., 1999; Inclán et al., 1999).

L'ús de combustibles fòssils, particularment a altes temperatures, produeix una elevada emissió d'òxids de nitrogen i la seva deposició posterior. L'amoni i els òxids de sofre i de nitrogen són els tres grans contaminants atmosfèrics responsables de la formació d'aerosols, els quals contribueixen a la formació de la pluja àcida. Aquests aerosols tenen una vida mitjana molt llarga i poden ser transportats a molta distància. Disminueixen la qualitat de l'aire i, en dipositar-se, causen eutrofització i l'acidificació dels ecosistemes. S'espera que les emissions de compostos d'N augmentin com a conseqüència de l'augment en el consum de combustibles fòssils i de fertilitzants de nitrogen a nivell global i, particularment, a Àsia i Àfrica. La deposició de grans quantitats d'N (de l'ordre de 20-100 kg N per hectàrea i any al centre d'Europa i a Escandinàvia) ha produït una saturació de la capacitat d'absorció per la vegetació i ha contribuït a la mort de molts boscos de coníferes europees.

Darrerament s'està reconeixent la importància de l'amoniac (NH₃) com a gas contaminant, amb un gran impacte en la química atmosfèrica i en l'estabilitat i la biodiversitat dels ecosistemes terrestres i aquàtics (Bobbink et al., 1998). L'NH₃

emès reacciona amb àcids atmosfèrics per formar aerosols que contenen amoni (NH₄). Diversos projectes d'investigació finançats per la UE (EXAMINE i GRAMINAE) han intentat estimar els fluxos d'NH₃ dels diferents ecosistemes per tal de fonamentar directives i protocols legals per al seu control (National Emissions Ceilings Directive; Multi-pollutant, Multi-effect Protocol).

La font principal d'aquest contaminant atmosfèric és la ramaderia intensiva i, concretament, l'aplicació de purins a la superfície del sòl. Seguir les recomanacions segons les quals s'han d'aplicar els purins a l'interior del sòl reduiria notablement les emissions. En canvi, la contribució als balanços locals i globals de les emissions procedents de la vegetació natural o dels conreus és més incerta. La vegetació pot actuar com a font o com a embornal d'NH₃. El sentit dels fluxos i la seva magnitud depèn d'un gran nombre de factors, com la temperatura, la humitat, la intensitat de la llum, el grau de fertilització d'N, el tipus de cultiu, la fenologia de la planta i el tipus de gestió.

Els fluxos d'NH₃ poden variar de forma important a diferents escales de temps, des de minuts a mesos, tot dificultant la seva mesura i integració per llargs períodes (Sutton et al., 2001). Així, s'han mesurat petites emissions, de l'ordre d'1-2 kg N-NH₃ ha⁻¹ i estació, en conreus de civada (Schjoerring et al., 1993), mentre que també s'han mesurat emissions elevades, de l'ordre de 15 kg N-NH₃ ha⁻¹ per estació, quan les mesures es concentren en els dies posteriors a la fertilització i durant el període entre l'inici de la floració i la collita (Harper et al., 1987). Sembla, doncs, que les emissions d'NH₃ poden ser importants després de la fertilització i en determinades etapes fenològiques del cultiu.

Els canvis en l'ús del sòl i el canvi climàtic afectaran els fluxos d'NH₃, però encara no es disposa dels models necessaris per analitzar els efectes a escala regional (Sutton et al., 2001). Sembla

clar que un augment de la intensificació ramadera o dels conreus augmenta les emissions d' NH_3 . També s'ha demostrat que la pràctica habitual de fertilitzar els conreus farratgers just després de la collita, quan hi ha un excés de nitrogen al sòl, s'hauria de canviar, i que deixar passar unes setmanes reduiria les emissions. Un escalfament del clima tendirà a augmentar les emissions.

B5.2.5. El context socioeconòmic

Els canvis previstos en el clima i d'altres condicionants del medi físic s'han de posar necessàriament en el context d'altres canvis culturals que s'estan produint simultàniament i que afecten l'ús del sòl. La població humana està creixent a un ritme d'uns 90 milions de persones per any. Conseqüentment, els ecosistemes naturals estant essent ràpidament reemplaçats per sistemes agrícoles i els sistemes existents s'estan gestionant més intensament per tal de fer front a la demanda creixent d'aliment i d'altres béns. La FAO estima que al voltant de 78 milions d'hectàrees de terra s'hauran convertit en agrícoles l'any 2010 a Amèrica del Sud, Àfrica i Àsia. No obstant això, tant a Europa com a Nord Amèrica, la proporció de terres agrícoles ha davallat al voltant d'un 0,50%, amb un decreixement exponencial (Sombroek i Gommès, 1997). El canvi en l'ús del sòl a la conca mediterrània en general, i a Catalunya en particular, es presenta com un escenari complex (de Bello et al., 2002). Alguns autors proposen que a les terres catalanes els canvis en l'ús del sòl poden tenir efectes tant o més importants que el canvi climàtic. En el cas de les activitats agropecuàries i silvícoles, aquests canvis es centren, d'una banda, en la roturació i la sobrepastura de la forest (Suárez et al., 1992) i, de l'altra, en un abandonament de les terres marginals de més difícil accés i complicada mecanització (Sebastià i Cañas, 1985). La transformació de les zones forestals en terres de conreu produeix un flux net del C contingut en la biomassa i en la matèria orgànica del sòl cap a l'atmosfera en forma de CO_2 .

L'homogeneització del paisatge produïda per l'abandonament de les terres marginals, en aug-

mentar la quantitat de combustible i la seva continuïtat, és una de les causes de la gran extensió d'alguns incendis (Vélez, 2000). Així, una part important dels incendis a la conca mediterrània afecta camps abandonats durant la segona meitat del segle xx (Vallejo, 1997). Paral·lelament, en els darrers decennis s'ha produït una intensificació de les activitats agropecuàries, amb una concentració en determinades zones de topografia suau i bona xarxa de comunicació. Això comporta un desequilibri territorial i l'aparició de problemes de contaminació, acumulació de residus, etc. A Catalunya, l'abandonament de terres i la intensificació de determinats usos en certes zones són els problemes més importants relacionats amb els canvis d'usos del sòl.

Els canvis en les condicions socioeconòmiques catalanes pel que fa a l'agricultura i la silvicultura no són independents de les modificacions que es produeixen en les condicions socioeconòmiques dels països veïns com a conseqüència del canvi climàtic. La suavització de les temperatures en els països centre i nord europeus portarà a una millora de les condicions productives d'aquests països, molts dels quals actualment són importadors de productes agrícoles catalans, i augmentarà la competència amb els mercats tradicionals. Això pot portar a un abandonament addicional de terres agrícoles, particularment de secà, com a conseqüència de la reducció de la rendibilitat de les explotacions.

Un darrer perill per a les zones agrícoles relacionat amb els canvis d'ús del sòl és la urbanització. Les ciutats es desenvolupen a prop de zones planes on hi ha una bona disponibilitat d'aigua i la demanda de sòl per a usos urbans o industrials a expenses del sòl agrícola és molt forta. Així, moltes de les terres properes als rius, que sovint tenen els sòls adequats per a l'agricultura i amb més facilitat per al reg, han estat o estan sent urbanitzades. Hi ha nombrosos exemples a tota la conca mediterrània. En el cas de Catalunya són patents a la ribera del mitjà i baix Segre, al Prat del Llobregat, al Maresme, etc. Aquest fet con-

trasta amb la implantació de nous regs a zones cada cop més allunyades dels rius.

B5.3. Impactes del canvi climàtic sobre l'agricultura i la silvicultura

B5.3.1. Productivitat dels sistemes agrícoles i silvícoles

La temperatura, l'aigua, els nutrients i el CO₂ es troben entre els factors de producció més importants. Els models disponibles preveuen que tots quatre elements experimentaran modificacions importants en els propers anys. Alguns dels canvis poden disminuir l'efecte limitant de la producció que en l'actualitat exerceixen alguns d'aquests factors. No obstant, s'ha vist que l'efecte que pot produir cadascun dels elements del canvi climàtic a nivell individual no permet predir, necessàriament, el seu efecte quan actuen conjuntament. Les interaccions entre els diferents elements productius són complexes i estan regulades per processos de retroacció positius i negatius. Per exemple, l'efecte beneficiós sobre la producció vegetal que la fertilització per CO₂ té per a moltes plantes conreades pot desaparèixer si hi ha una reducció de la disponibilitat hídrica o una manca de nutrients. Al mateix temps, s'ha vist que un increment del CO₂ a l'atmosfera millora les relacions hídriques de les plantes, però el balanç total pot dependre de canvis en altres factors climàtics.

B5.3.2. Erosió i cicle hidrològic

Si en una zona determinada s'incrementen els períodes de sequera extrema i d'escalfament de manera persistent, l'equilibri de l'ecosistema pot trencar-se i augmentar perillosament el risc de desertització, especialment si a més es superposen activitats humanes de degradació o sobrepastura (Gates, 1993). Si la coberta vegetal es redueix sota aquestes condicions, per exemple, per una disminució de la productivitat, l'albedo incrementa i s'entra en un procés de retroacció positiva que amplifica el fenomen erosiu i la desertificació. El fenomen erosiu pot veure's amplificat per l'augment de la freqüència de pluges torrencials després d'un estiu calorós.

Al Sahel s'han trobat correlacions entre la quantitat de pols produïda a la primavera i les pluges reduïdes de l'any anterior (Brooks i Legrand, 2000), que mostren una possible dependència entre la climatologia àrida i l'erosió. A Catalunya, aquesta pols arriba en quantitats cada cop més significatives (Ávila et al., 1998) i pot tenir efectes positius sobre el creixement dels boscos i en l'esmoreïment de la pluja àcida (Ávila i Peñuelas, 1999), però també constitueix un recordatori dels perills que amenacen el país.

B5.3.3. Els cicles del carboni, del nitrogen i d'altres nutrients

Les prediccions sobre els efectes del canvi climàtic en els cicles biogeoquímics i com aquests, al seu torn, poden incidir sobre el canvi climàtic són difícils, ja que els escenaris futurs no estan del tot definits. El cicle del carboni està íntimament lligat al cicle dels altres nutrients, particularment al del nitrogen. Una disponibilitat baixa d'aigua o de nutrients limitarà la capacitat dels ecosistemes per assimilar carboni (vegeu Alcañiz et al., capítol B10 d'aquest llibre). A Catalunya, molts ecosistemes forestals i agraris es troben limitats pel fòsfor (P). A escala biològica, la disponibilitat de P està associada a la descomposició de la fullaraca i de la matèria orgànica del sòl. A escala de temps pedogenètica, en canvi, està controlada, en últim terme, per la meteorització dels minerals primaris. Els factors que controlen la descomposició de la matèria orgànica seran determinants en la disponibilitat de fòsfor per a les plantes.

La deposició d'N atmosfèric procedent de la contaminació atmosfèrica va comportar l'augment de la producció de molts boscos europeus que estaven limitats per aquest nutrient, tot i que també va provocar la mortalitat d'algunes masses forestals per desequilibris nutricionals i lesions a les fulles i branques fines. A Catalunya, diversos grups estan fent mesures força acurades de la deposició d'N en diferents ecosistemes forestals i aquàtics (CREAF, CEAM-CTFC, CRAM-UB-CSIC). La deposició total d'N s'ha estimat en uns

15-21 kg per hectàrea i any en alguns alzinars del Montseny (Rodà et al., 2002) i de 4,0 i 2,9 kg, en forma d'amoni i de nitrat respectivament, els anys 1997-2001, a la conca del Redon (Viella, Pirineu central, Mosello et al., 2002). Si els nivells de deposició al Montseny es mantenen tan elevats cal esperar un augment de la producció dels boscos, però a llarg termini els efectes poden ser perjudicials (Rodà et al., 2002).

Entendre com els possibles escenaris afectaran les interrelacions entre els diferents nutrients és difícil. Les respostes dels ecosistemes a un canvi climàtic només poden ser experimentades a curt termini. A més llarg termini, les prediccions s'obtenen a partir de models de simulació. Així que, a llarg termini, les incerteses sobre com s'afectarà el funcionament de l'ecosistema són molt grans i fan referència a com s'adaptaran les plantes i els organismes a un determinat canvi climàtic (Arp et al., 1997). Una concentració elevada de CO₂ produeix, a curt termini, un creixement més gran de les plantes. La capacitat de mantenir una productivitat més elevada dependrà de com les plantes interaccionen amb altres factors, com la disponibilitat de nutrients i d'aigua. La relativa eficiència en el seu ús per les diferents espècies pot determinar l'èxit competitiu d'aquestes i modificar la composició futura d'espècies. Les plantes crescudes en condicions de CO₂ elevat tenen una concentració d'N més petita i una relació C/N més alta (Bottner i Couteaux, 1991). Això disminueix la seva qualitat i en redueix la taxa de descomposició. No obstant això, l'augment del C pot ser degut en bona part a una acumulació de midó, que té un efecte diferent a si l'augment es produeix en un compost de C més recalcitrant (Arp et al., 1997). A més, un augment de la temperatura produeix un augment de la taxa de descomposició. A llarg termini, una concentració de CO₂ més elevada pot afectar la capacitat de retirar els nutrients de les fulles abans no es desprenguin o augmentar l'absorció de nitrogen i que l'efecte sobre la qualitat de la fullaraca sigui menys important (Arp et al., 1997). Així, la resposta de les plantes a un esce-

nari complex d'augment de la concentració de CO₂ dependrà d'un conjunt d'interaccions amb factors biòtics i abiòtics, on la disponibilitat d'N serà determinant.

B5.3.4. Embornals de carboni

Després dels acords de Kyoto, s'estan fent bastants esforços per quantificar el contingut de carboni dels diferents ecosistemes i per entendre els mecanismes que intervenen en els intercanvis de carboni entre els diferents compartiments d'un mateix ecosistema. Deixant de banda el factors antròpics, el balanç net de CO₂ a l'atmosfera és el resultat de la diferència entre la sortida per via de l'assimilació fotosintètica de C i l'entrada com a resultat de la respiració i la descomposició. En funció de la intensitat d'aquests processos, un sistema determinat actuarà com a font de C cap a l'atmosfera o com a embornal, sostraint C de l'atmosfera.

El contingut orgànic d'un sòl és el resultat d'un equilibri entre la vegetació, la precipitació i la temperatura. L'assimilació de C per la vegetació presenta una resposta positiva i instantània a un augment de la concentració de CO₂, quan les altres necessitats de la planta es poden satisfer. En canvi, el procés de descomposició presenta una resposta més lenta i indirecta, generada a partir dels canvis de temperatura, humitat i qualitat de la matèria orgànica resultat d'un canvi sostingut en la concentració de CO₂. L'augment de la respiració també és un resultat indirecte i augmenta exponencialment amb l'augment de la temperatura. En un futur escenari de canvi climàtic, caracteritzat per un augment de la temperatura i de la concentració de CO₂, es preveu, a un termini mitjà, una disminució de la taxa d'assimilació de CO₂, mentre que les taxes de respiració i descomposició seguiran augmentant. Així, sembla que l'absorció de C des de l'atmosfera serà difícil de mantenir. Com efecte afegit, la transformació d'ecosistemes naturals en terres de conreu a escala global no es reduirà i, per tant, el balanç net per a l'atmosfera a llarg termini serà un augment de la concentració de CO₂. Els sòls

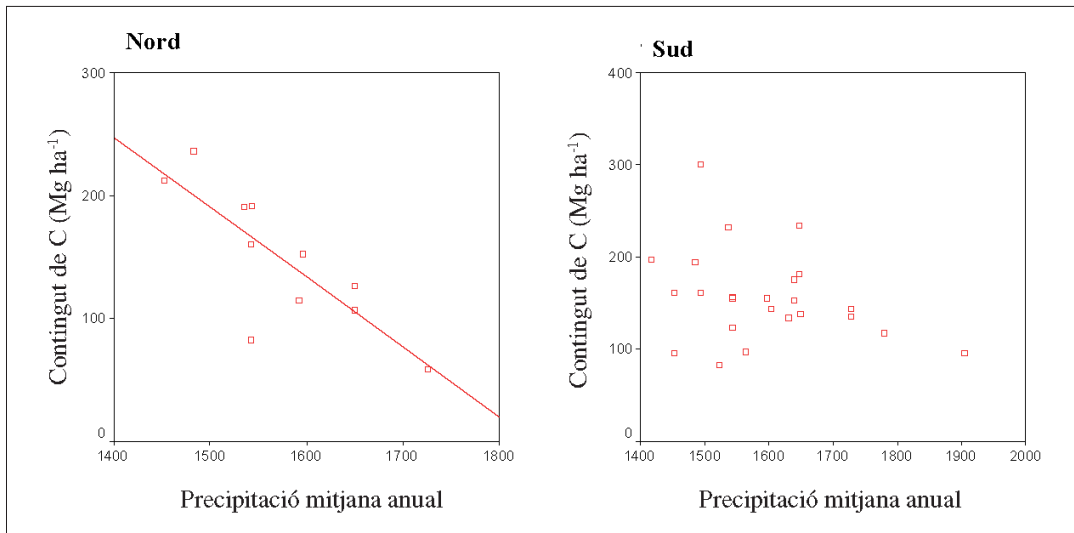


Figura B5.5. Variacions en el contingut de carboni al sòl en pastures pirinenques, en funció de la precipitació anual de cada localitat mostrejada per a dues orientacions, (nord i sud).

Font: Garcia-Pausas et al. 2003.

constitueixen el compartiment dels ecosistemes terrestres amb més C acumulat i, a més, es considera que poden ser un embornal net de C (vegeu Alcañiz et al., capítol B10 d'aquest llibre, on s'estima el C emmagatzemat al sòls de Catalunya). No obstant això, la repetició de l'inventari nacional de sòls que s'havia realitzat entre els anys 1978 i 1981 a Anglaterra i Gal·les ha permès constatar una disminució del contingut de carboni orgànic dels sòls agrícoles i de les pastures permanents (Bellamy et al., 2003). La disminució en els sòls agrícoles es pot explicar si es relaciona amb un augment del llaurat i de la fertilització del sòls. En canvi, la disminució del contingut de C en els sòls de les pastures permanents es més sorprenent i controvertit.

Una altra característica dels boscos i prats que podria contribuir a la llarga a l'economia de les zones rurals i constituir un valor afegit de les activitats agràries és la seva capacitat com a embornals de carboni. Els prats i altres ecosistemes pastorals sembla que acumulen una bona quantitat de carboni al sòl, però la capacitat com a embornal de carboni sembla dependre del tipus

de maneig (Guo et al., 2002). En un estudi preliminar fet als Pirineus, es trobà que el contingut de carboni al sòl en pastures subalpines i alpines variava des de 60 fins a 300 tones de C per hectàrea. Aquesta variació 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 (Garcia Pausas et al., 2003, figura B5.5). Tot i així, quedava una gran part de la variabilitat sense explicar, i la hipòtesi és que la biomassa de la pastura i el tipus de maneig poden ajudar a explicar una bona part d'aquesta variabilitat. Per tal de comprovar-ho, s'està desenvolupant el projecte CARBOPAS, coordinat des del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, en què també participen la Universitat de Barcelona, la Universitat Autònoma de Barcelona i la Universidad Pública de Navarra. Els resultats preliminars d'aquest projecte, a partir d'un mostreig extensiu de sòls de pastura dels Pirineus, apunten que els sòls de les zones pasturades tenen més C que els sòls de les zones sense pasturar (Casals et al., 2004).

Aquests resultats concorden amb els resultats preliminars dels projectes CARBOMONT i GREENGRASS, finançats per la Comunitat Europea, que estimen l'intercanvi net de C entre l'atmosfera i l'ecosistema mitjançant la tècnica de la covariància turbulenta (*Eddy covariance*). Segons aquests estudis, els ecosistemes pastorals europeus tenen un lleuger paper d'embornal de C (Sanz et al., 2003), tot i que es necessiten més dades. A la vall d'Alinyà, al Pirineu de Lleida, una de les localitats estudiades en el primer projecte, s'està fent un seguiment del balanç net del carboni pel mètode de la covariància turbulenta (*Eddy covariance*), analitzant el flux de CO₂ atmosfèric al llarg del temps en un prat de transició entre l'estatge subalpí i altimontà, fortament pasturat tot l'estiu i fins ben entrada la tardor. Els resultats mostren que l'any 2002 el prat va ser una font de C durant l'estiu, coincidint amb les temperatures altes i la pastura intensa, i un embornal durant la tardor (figura B5.6). En conjunt, entre el 13 de juny i el 30 de setembre del 2002 l'ecosistema va tenir una acumulació total de 13,7 g C m⁻² (Sanz et al., 2003), però anàlisis preliminars de les dades del 2003 apunten una compensació entre entrades i sortides.

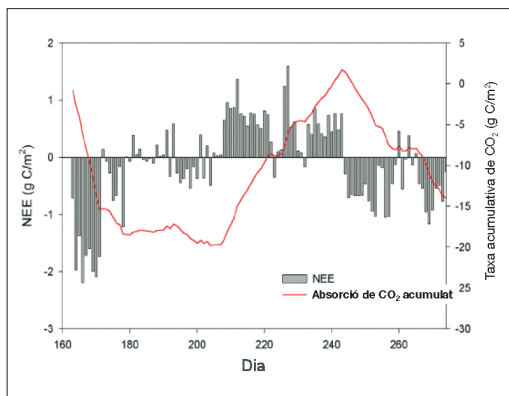


Figura B5.6. Intercanvi net del ecosistema (NEE) i CO₂ absorbit acumulat, mesurats pel mètode de l'*Eddy covariance* a la parcel·la de mostreig del projecte CARBOMONT a la vall d'Alinyà durant el període de creixement del 2002.

Font: Sanz et al. 2003.

La majoria dels escenaris de canvi climàtic previstos comportaran un canvi en l'ús del sòl i aquest, al seu torn, repercutirà sobre el canvi climàtic. El contingut orgànic d'un sòl és resultat d'un equilibri entre la vegetació, la precipitació i la temperatura, a més de la textura. Un canvi en l'ús de la terra afectarà aquest equilibri i el sòl esdevindrà una font o un embornal de C fins que s'arribi a una nova situació d'equilibri. El C acumulat en un sòl disminueix de forma important quan un bosc o una pastura es converteix en conreu (més del 50% del contingut inicial, segons Guo i Gifford, 2002). El procés contrari també és molt significatiu. La regeneració d'un conreu per vegetació natural o la plantació d'arbres produeix una acumulació de matèria orgànica al sòl. Romanyà et al. (2000) van estimar increments de l'ordre de 100 kg de C per ha i any en el sòl en plantacions de *Pinus radiata* a Catalunya fetes sobre vinyes i camps de cereal. Tanmateix, el pas de pastura a plantació pot significar la pèrdua de C al sòl (Guo i Gifford, 2002).

B5.3.5. Capacitat d'invasió, malalties i plagues

Totes les plantes utilitzen els mateixos recursos bàsics i, per tant, competeixen per tal d'obtenir-los. Malgrat que algunes espècies semblen més competitives que altres en l'obtenció d'aquests recursos, no hi ha pràcticament cap superfície de la Terra ocupada per una sola espècie de planta i, en la majoria dels llocs, coexisteixen diverses espècies de forma natural. Els agroecosistemes no en són una excepció, i els pagesos gasten molts recursos per tal de reduir el nombre d'espècies invasores i adventícies dels cultius. Generalment, la prevenció de totes les pèrdues produïdes per herbes no desitjades no és econòmicament rendible, atès el cost de la despesa en herbicides, mà d'obra, combustible i maquinària necessària per combatre-les. En països industrialitzats, s'ha estimat una pèrdua de la producció d'un 7% per als conreus més importants amb les millors pràctiques agrícoles, xifra que arribaria fins a un 35% si no s'apliquessin herbicides (Bunce i Ziska, cap. 15,

Reddy i Hodges, 2000). En condicions de canvi climàtic, s'ha especulat que es podria produir un increment de les pèrdues de producció en els conreus a causa de les males herbes, per les causes següents:

- Una plasticitat i una variabilitat genètiques més elevades a les males herbes que als cultius.
- L'ampliació cap al nord, a l'hemisferi nord, de l'àrea de distribució d'algunes males herbes molt agressives, les quals actualment tenen llur distribució limitada a regions molt càlides per la seva sensibilitat a baixes temperatures.
- Un hipotètic increment de les dificultats per combatre les males herbes mecànicament i química com a conseqüència dels canvis fisiològics originats per un increment de CO₂ a l'atmosfera (Bunce i Ziska, 2000).

Algunes herbes no desitjades tenen via metabòlica C₄, la qual cosa les fa molt competitives en ambients càlids. Tanmateix, quan l'atmosfera té una elevada concentració en CO₂, l'avantatge de la via C₄ sobre la C₃ desapareix. Per tant, aquest factor dependrà del cultiu concret que es consideri i de les males herbes més freqüents en aquest cultiu. Una atmosfera enriquida en CO₂ podria representar un avantatge per a cultius C₃ amb males herbes C₄ (Bunce & Ziska, 2000).

Pel que fa a les plagues animals, l'increment de C sota una atmosfera amb CO₂ elevat pot portar a l'increment de la concentració de metabòlits secundaris a les plantes, els quals actuen com a mecanismes de defensa contra els herbívors. Aquest increment podria dependre de l'espècie considerada, i Peñuelas et al. (1996) trobaren un rang de respostes dins de diverses espècies d'interès agrícola i forestal, decreixent a pins, sense canvis a tarongers i creixent a blat sota dos tractaments, ben irrigat i amb deficiències hídriques. També l'estrès hídric fa que les plantes tinguin més compostos secundaris de tipus fenol, terpens que els protegeixen, al mateix temps, de les plagues.

La reducció en la proporció d'N a les plantes produeix un desenvolupament més llarg en alguns insectes que les consumeixen, un augment del consum d'aliment, un descens en l'eficiència del processament de l'aliment i una reducció general del desenvolupament (Roth i Lindroth, 1995). Tot i que no es disposa de gaires dades, l'augment de CO₂ podria inhibir el desenvolupament de l'escarabat de la patata (Miglietta et al., 2000). En canvi, un augment de les temperatures podria portar a la introducció de plagues en zones on no es troben actualment. Molts organismes tenen limitada llur distribució geogràfica a causa de les baixes temperatures i el risc de gelades a altituds elevades i a regions més septentrionals. La processionària del pi, per exemple, sembla haver augmentat el seu rang altitudinal a Catalunya. S'ha predit que temperatures hivernals més càlides tindran efectes significatius en les poblacions de moltes plagues d'insectes, limitades per la temperatura, en organismes tan diversos com el mosquit verd de la patata, la tinya del gira-sol o el taladre del blat de moro (Gates, 1993).

Canvis en el clima poden tenir conseqüències desproporcionades per a l'aparició de plagues. L'extensió d'una plaga a partir de nombres reduïts d'organismes molt sovint està relacionada amb la concurrència d'unes condicions climatològiques favorables determinades (Gutierrez, 2000). Dades preliminars semblen indicar que sota aquestes condicions es necessitaran nous agents de control biològic (Gutierrez, 2000). En determinats casos, com els conreus farratgers, la barreja d'espècies farratgeres podria dotar el conreu d'una major capacitat de resposta davant de plagues, males herbes o alteracions climàtiques com sequera o gelades primerenques en comparació amb els monocultius, sense disminuir ni la producció ni la qualitat bromatològica (Sebastià et al., 2004a).

B5.4. Vulnerabilitat i adaptació dels principals sistemes agrícoles i silvícoles a Catalunya

B5.4.1. Cereals

La situació dels cultius a Catalunya amb relació al 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 dels 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. Però, si es garanteix la disponibilitat d'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 efectes poden ser molt diferents en funció del cultiu i de com es produeixi l'increment de la temperatura.

Amb l'augment de la temperatura, s'ha estimat una reducció de la durada dels conreus de cereals (Deudron, 2001) i, si aquesta pujada es produeix a l'hivern, una manca de vernalització en varietats de blat amb aquests requeriments (Guereña et al., 2001). Un tipus de conreu de secà que podria presentar problemes amb l'escalfament i l'increment de l'aridesa 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 Mitchell, 2000). El cultiu de cereals, com el de lleguminoses, ha experimentat un creixement important a Europa en anys anteriors (Sombroek i Gommès, 1997).

La Unió Europea és un dels principals exportadors de blat al mercat mundial, però els darrers anys ha experimentat, globalment, una reducció de la productivitat i una davallada de la superfície cultivada de blat, per la qual cosa les recomanacions generals són garantir una inversió en producció de blat per cobrir les demandes d'una població en augment i contrarestar els possibles

efectes del canvi climàtic (Lawlor i Mitchell, 2000). El blat és una de les espècies 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 B5.2). En canvi, l'increment de CO₂ pot reduir en part els efectes negatius de la sequera (Lawlor i Mitchell, 2000) i portar a l'augment del rendiment dels cereals d'hivern de tota Europa (Deudron, 2001).

Actualment, els cereals de secà són molt importants en zones de Catalunya ja força àrides, com la Segarra, de manera que la disminució de la precipitació en aquestes zones i l'augment de les temperatures podria conduir 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 B5.2). Les comarques més frescals i més muntanyenques del nord de Catalunya podrien experimentar canvis importants amb un augment de l'aridesa. Actualment, aquestes zones poden produir, sense reg, conreus típics de zones temperades fredes, gràcies a unes temperatures frescals i una precipitació suficientment elevada. L'escalfament comportaria 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).

B5.4.2. Conreus hortícoles i en hivernacle

A diferència dels altres grups de conreus, a Catalunya es cultiva una gran diversitat d'hortalisses, amb moltes espècies diferents. Per altra banda, aquestes hortalisses es cultiven en una gran diversitat de sistemes de producció: des d'un cultiu semiextensiu de ceba a les comarques de Lleida fins a un cultiu en hivernacle amb els últims avenços tecnològics al litoral català (al Maresme, al Baix Llobregat i al litoral tarragoní). Aquesta gran diversitat de cultius i de sistemes

	Respostes biològiques	Vulnerabilitat regional	Solucions tecnològiques	Condicions socioeconòmiques	Oportunitats
Cereals	Resposta positiva al CO ₂ en plantes C ₃ . Resposta positiva a la temperatura en plantes C ₄ . Escarçament del cicle.	Zones de secà meridionals molt vulnerables. Possibilitats d'incrementar la superfície a les zones més septentrionals	Disponibilitat de varietats resistents a la sequera. Canvi dates de sembra. Canvi a varietats de cicle curt.	Reducció desaparició, en alguns llocs, dels cereals de secà actuals.	En alguns indrets, increment del sorgo, mill i blat de moro.
Hortalisses	Respostes diverses al CO ₂ . Efectes més aviat negatius a l'augment de la temperatura. Elevada sensibilitat a l'estrés 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 tallants, 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. Substitució de cultius menys rendibles per cultius hortícoles adaptats. Nous cultius.
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 tallants, gota a gota, captació d'aigua per la coberta d'hivernacle, recirculació de l'aigua de reg, increment dels cultius en sense sòl etc.	Pèrdua de superfície de conreu per increment de zones urbanes i per l'adopció d'altres tècniques de protecció. Increment en zones periurbanes.	Reducció de despeses de calefacció i combustibles fòssils i d'adobat amb CO ₂ . En canvi, increment de despesa per a refrigeració estival. Cultius d'origen més càlid, hortícoles o ornamentals.
Cultius llenyosos	Necessitat d'un nombre determinat d'hores de fred per floració alta i regular i qualitat adequat. Pèrdua de qualitat de la 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 nous 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.
Farratgeres	Resposta positiva al CO ₂ en lleguminoses i altres. Augment del cicle productiu (alfals).	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 bones farratgeres. 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.	Difícil 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		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 l'ús del sòl per abandonament. Pèrdua de superfície per abandonament de pastures.	Augment de la superfície per abandonament de conreus.

Taula B5.2. Comparació de les possibles respostes dels diferents tipus de conreu i pastures davant del canvi climàtic.

productius hauria de conferir a l'horticultura una major capacitat de resposta front als canvis climàtics. De fet, en horticultura s'utilitzen tècniques de modificació climàtica per produir cultius específics. El preu de mercat dels productes hortícoles, més elevat en comparació amb altres conreus, permet aplicar tecnologies de control dels sistemes productius de més impacte que en altres sistemes de cultiu.

Des del punt de vista productiu, l'augment de la temperatura ambiental comportarà efectes molt diferents depenent del cultiu que es tracti. En general, l'augment tèrmic tindrà efectes sobre els cicles de cultiu, escurçant-los. Això pot donar lloc a alguns avantatges econòmics, en permetre produccions més primerenques, amb un valor en el mercat més elevat. Serà necessària, doncs, una adaptació dels cultius i, sobretot, de les varietats cultivades a les diferents zones climàtiques i en alguns casos també de les espècies conreades. Una alternativa seria desplaçar el cultiu a una zona climàtica diferent o de més altitud. No obstant això, si es volgués seguir conreant les mateixes varietats en la mateixa zona climàtica afectada per un increment tèrmic considerable, en la majoria dels casos comportaria probablement una lleugera disminució de la producció, en escurçar-se el cicle, però, sobretot, una pèrdua de qualitat dels productes hortícoles (taula B5.2).

Són prou coneguts els efectes negatius que tenen les altes temperatures sobre la qualitat de moltes verdures. L'espinaç i la col-i-flor, per exemple, no resisteixen temperatures gaire altes (Llebot, 1997), com els enciams i la majoria de cultius d'arrel, com la pastanaga (Peet i Wolfe, 2000). Segons dades de Wien, recopilades a Peet i Wolfe (2000), en el cas dels espàrrecs i les mongetes es produeix un augment del teixit fibrós, a la col i als 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, etcètera. Per als productors de verdures fresques, fins i tot, petites

faltes poden fer invendibles els seus productes. 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 rebuigs temporals del mercat i d'adaptar-se i canviar a un cultiu diferent, que requereix una tecnologia nova (Peet i Wolfe, 2000). No obstant això, el canvi climàtic obre les portes a d'altres oportunitats en matèria d'hortícoles, com es pot veure a Almeria i Múrcia, actualment amb condicions climàtiques més càlides.

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 (com, per exemple, la col-i-flor i el bròquil), s'hauran d'adaptar, utilitzant les varietats adequades, si es volen seguir conreant al litoral. Ara bé, en el cas d'alguns cultius per als quals la vernalització suposa 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 podrà plantejar la realització d'altres cultius mitjanament resistent al fred que són difícils de portar a terme perquè no suporten 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 tuberculització en incrementar-se les temperatures.

En zones interiors, l'estiu podrà esdevenir més càlid encara del que ja és actualment. Això comportarà una preferència pels cultius d'estació càlida més resistent a altes temperatures. Probablement s'hi puguin introduir nous cultius procedents de zones climàtiques més càlides. Al 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 B5.2). En els casos en què el

cultiu s'ha de fer necessàriament en hivernacle, se'n podrà plantejar el cultiu amb sistemes de semiforçat menys sofisticats o, fins i tot, dependent de la magnitud del canvi tèrmic, a l'aire lliure, tot reduint els costos de producció.

A l'hivern es preveu reduir la despesa en sistemes de calefacció i combustibles fòssils en els hivernacles. En canvi, a l'estiu l'excés de temperatura, que ja actualment és limitant, probablement esdevindrà crític per a la producció, a menys que s'implementin sistemes de refrigeració eficients, fet que podria comportar un increment de la despesa energètica. En aquestes circumstàncies es podran realitzar cultius d'origens climàtics més càlids, ja sigui hortícoles o ornamentals (com les espècies CAM: cactàcies, etc.), que actualment són més difícils de realitzar (taula B5.2).

En els cultius d'estació càlida (majoria de cultius de fruit) l'increment tèrmic podria suposar 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 (ombreg dels cultius, utilització d'encoixinats reflectants en sòl, maneig de la ventilació i utilització de sistemes de refrigeració, etc.). En canvi, un efecte negatiu de l'increment tèrmic serà l'augment de plagues en els conreus hortícoles, especialment a la primavera i a l'estiu. S'hauran d'aplicar, doncs, nous sistemes d'escapament i de control d'aquestes plagues.

Com que els cultius hortícoles són, bàsicament, plantes C_3 , l'augment de la concentració de CO_2 ambiental per se té una resposta productiva positiva. De fet, en horticultura s'utilitza des de fa anys la tècnica de l'adobat carbònic en el cultiu en hivernacle. El CO_2 que s'introdueix en els hivernacles pot procedir de diverses fonts, com els gasos de combustió dels sistemes de calefacció de les pròpies explotacions i del subministrament d'empreses productores de gas. En aquest últim cas, aquestes empreses poden obtenir el gas d'indústries que alliberen CO_2 a l'ambient

com a subproducte dels seus processos industrials. Segons això, els cultius en hivernacle podrien actuar com a fixadors del CO_2 d'origen industrial, actuant, doncs, de forma beneficiosa en el control del canvi climàtic. El cultiu en hivernacle també podria contribuir a combatre la variabilitat i la incertesa del clima que pot incrementar els riscos de pèrdues de producció.

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 millorar l'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 suposaria incrementar l'aportació hídrica per a aquests cultius. Els hortícoles són bastant més sensibles a l'estrès hídric que altres grups de cultius. La majoria d'espècies hortícoles no són tolerants –o ho són molt poc– a la sequera (McKersie i Leshem, 1994). No és casualitat que dues zones típicament hortícoles 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, que en termes productius significa una disminució de la productivitat potencial.

Des del punt de vista hídric, 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 últimes es manté el règim hídric, no es requeria un increment de l'aportació hídrica. Els sistemes hortícoles disposen de diverses estratègies per combatre la sequera, augmentar l'eficiència hídrica dels cultius i reduir globalment el consum d'aigua (per exemple, encoixinats del sòl, tallavents, hivernacles, sistemes de reg gota a gota, control de les necessitats hídriques utilitzant sensors, etc.).

El delta de l'Ebre i el delta del Llobregat són dues zones típicament hortícoles. A part del

canvi climàtic, hi ha 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, que en el cas del delta del Llobregat és la ciutat de Barcelona. El creixement de la ciutat i la millora de les seves infraestructures de comunicació es fa en detriment de les millors terres agrícoles. D'altra banda, aquesta proximitat amb els nuclis urbans fa que la competència pels recursos hídrics (entre altres recursos) sigui més important entre l'horticultura i altres sectors (domèstic, industrial i turístic) que en el cas d'altres sistemes de cultius. 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 per al reg dels cultius hortícoles periurbans.

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 NPOTATO, desenvolupat en un experiment finançat per la Comunitat Europea. El cultiu de la patata és molt sensible a les elevades temperatures, ja que la tuberculització es veu inhibida per les temperatures altes i es fa molt irregular en condicions d'estrès hídric. La formació dels grills de la patata també es veu estimulada per les altes temperatures. Tanmateix, la resposta a les temperatures elevades presenta una elevada variabilitat genètica, essent les varietats primerenques menys vulnerables a l'escalfament (Peet i Wolfe, 2000). S'ha observat 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 sota diversos escenaris de canvi climàtic i sense irrigació. La mateixa productivitat de la patata podria variar entre petits augments en zones no irrigades fins a petites

disminucions 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 època de 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 varen reduir considerablement els requeriments d'irrigació (Miglietta et al., 2000).

B5.4.3. Cultius llenyosos

Alguns dels cultius llenyosos que tenen més importància a Catalunya, com la pomera, la perera, el cirerer i el presseguer, necessiten un nombre determinat d'hores de fred. Quan el nombre d'hores de fred no és suficient, la floració és més baixa, irregular, estesa en el temps i amb un qualitat més petit i, per tant, comporta una reducció de la producció (taula B5.2). Si la reducció d'hores de fred és prou elevada, algunes varietats de pomes i peres que es cultiven actualment poden esdevenir inviàbles. En canvi, en alguns cultius, com el presseguer, aquesta alteració es pot solucionar amb un canvi de varietat.

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 patir els efectes de les 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 per una reducció del risc de gelades, seria possible introduir nous cultius llenyosos en zones com la Plana de Lleida, com, per exemple, el cultiu del nesprer o la introducció de noves varietats d'albercoquers o de presseguers que necessiten menys hores de fred per tal

de desenvolupar llurs fruits. Es tracta de 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 es fa bàsicament a la zona de Tortosa, es tracta d'una producció de qualitat molt sensible a les gelades, fet que explica que en alguns anys la producció hagi disminuït. 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 augmentat la seva superfície, al generar-se bones perspectives per a aquest cultiu. 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.

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 la pèrdua de color de les pomes roges o bicolors o per un augment de l'anomenat cop de sol). L'allargament del període de creixement (Peñuelas et al., 2002) 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, el risc de pèrdues de la producció pot augmentar si l'avançament de la floració implica una superposició més àmplia amb el període de risc de gelades. L'augment de la variabilitat del clima predita 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. La gran quantitat de pèrdues produïdes amb les fortes glaçades degudes a

temperatures de -20°C l'hivern del 2002 es traduï, en zones com Les Garrigues, en una elevada mortalitat de les oliveres i la necessitat de replantar molts arbres. En aquesta zona, on el risc real de gelades fortes amb una periodicitat potser d'almenys una cada vint anys és ben real, 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.

Ara bé, un factor molt limitant en aquestes zones de secà és la manca d'aigua. En els terrenys de secà o amb regs deficitaris, la reducció de pluges i l'augment de la seva irregularitat i de les temperatures a l'estiu incrementaria l'estrès 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 pluvio-metria. També s'ha predit un desplaçament cap al nord de les zones més favorables per al cultiu d'aquesta planta (Iglesias, 2000; Pascual, com. personal). L'augment de temperatures, però, podria incidir positivament en la qualitat. És difícil avaluar com el canvi climàtic afectaria la qualitat del vi, ja que s'hauria d'avaluar el microclima de cada zona en particular (humitats, pluges, règim de temperatures, etc.). S'ha trobat una forta dependència entre la qualitat vitícola i el clima, i la gran qualitat del vi els darrers 30 anys s'ha relacionat amb fenòmens d'El Niño (Rodó i Comin, 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).

B5.4.4. Farratgeres

Al nord de les comarques interiors catalanes, com l'Alt Berguedà, l'Alt Urgell i el Solsonès, les espècies farratgeres com l'alfals o la trepadella es nodreixen principalment de l'aigua de les pluges, mentre que a comarques més meridionals com l'Osona, el Segrià i el Pla d'Urgell, els cal el reg. La forta sequera patida l'estiu del 2003 ha

fet 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 s'ha perdut per a fenc o ensitjat, els pagesos l'han donat com a pastura al bestiar mitjançant pastura. De manera habitual, els cicles anuals dall-pastura experimenten força variacions segons la climatologia concreta de cada any, com és d'esperar en zones amb influència mediterrània. Anys particularment humits i frescals 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. 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 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 en el cas de 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 B5.2). 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 (Martín-Vide, capítol A3 d'aquest llibre) amenaça un factor en el qual aquestes zones basen gran part de la seva riquesa productiva: la disponibilitat d'aigua.

Una de les lleguminoses farratgeres d'interès és la trepadella (*Onobrychis viciifolia*), cultivada freqüentment 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 de les varietats i hi ha molta confusió sobre les que encara queden.

En el cas de l'alfals, actualment es produeixen dues situacions diferents. A més de ser conreada en zones climàticament humides i frescals de les nostres muntanyes, a Catalunya l'alfals és molt important en zones càlides amb reg. Un exemple representatiu es troba al Segrià i a 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 d'un nombre màxim mitjà d'aprofitaments per sobre de l'actual. Aquest forçament, però, podria comportar també la necessitat d'entrada de més fertilitzants, bàsicament fòsfor i potassi, amb un augment dels residus i del risc de contaminació de les aigües. La mateixa situació és aplicable al blat de moro, una planta molt cultivada com a farratgera en territori català, en aquest cas amb l'agreuja d'una necessitat de fertilitzants nitrogenats. Com a conseqüència de la preocupació sobre la necessitat d'innovar en el conreu de farratgeres per tal que, sense una pèrdua de producció, es minimitzin els efectes ambientals, resulta interessant esmentar una iniciativa desenvolupada dins d'una acció integrada europea sobre el cultiu de les lleguminoses farratgeres (l'acció COST 852). Un dels objectius d'aquesta acció consisteix en trobar la barreja de gramínies i lleguminoses que faci òptim el rendiment i minimitzi els efectes ambientals.

El blat de moro és un cultiu molt important, tant a Catalunya (on es cultiva com a planta farratgera en regadiu) com en el marc de la Unió Europea, i ha esdevingut el tercer cultiu a escala mundial, després del blat i de l'arròs, en termes de font d'energia i proteïna per a la nutrició humana. La proporció total de terres dedicades al cultiu del blat de moro ha augmentat mundialment al voltant d'un 40% durant els 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 un -30% i un canvi a l'alça. Aquestes variacions 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). En estius molt calorosos, com el del 2000, la producció mitjana de blat de moro per a gra ha baixat un 15-20% (Jaume Lloveras, comunicació personal).

B5.4.5. Prats de muntanya

Els prats seminatural de les zones fredes i temperades són ecosistemes de gran valor ecològic, paisatgístic i cultural. Aquests ecosistemes constitueixen un reservori de la biodiversitat, mantingut per les poblacions locals mitjançant un maneig extensiu tradicional que, en algunes parts del planeta, data dels temps prehistòrics. Es tracta d'ecosistemes sostenibles que proporcionen una font d'aliment renovable, natural i econòmic per al bestiar i al voltant dels quals s'estructura una gran proporció de les activitats agropecuàries de les zones de muntanya. A Catalunya, aquests prats comparteixen moltes similituds en termes de flora, vegetació i ecologia amb els de les zones fred-temperades de la resta d'Europa (Sebastià et al., 1998; Sebastià, en premsa) i es desenvolupen en àrees de precipitació relativament elevada, sovint superior als 1000 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 B5.2).

A Catalunya, aquests prats es troben distribuïts principalment en zones de muntanya (especialment al Pirineu, però també al Montseny i en altres serralades prelitorals catalanes, i arriben 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 d'experimentar canvis en el règim de precipitacions, a més dels canvis en la temperatura, i podrien veure disminuïda la quantitat d'aigua que reben anualment (Martín-Vide, capítol A3 d'aquest llibre). 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, en aquest sentit, molts experiments han mostrat una estimulació del rendiment amb l'escalfament (Rustad et al., 2001). Aquesta estimulació ha estat atribuïda, en part, 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. Per una altra part, però, també ha estat atribuït 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 (Sebas-

Agricultura i silvicultura Maria Teresa Sebastià, Pere Casals, Glòria Domínguez, Lluís Martí i Joan Costa

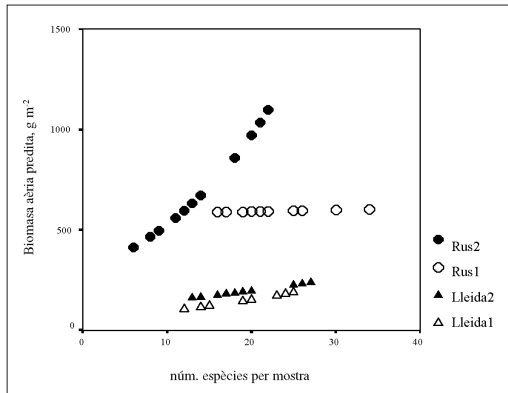


Figura B5.7. Variacions en la biomassa predita per mostra en funció de la riquesa florística mesurada com a nombre d'espècies per mostra als monòlits intactes de prat subalpí situats a la muntanya (Rus) i al campus de l'ETSEA (Lleida), per a dos dalls diferents. El primer va realitzar-se a finals de juliol (1) i el segon a mitjans de setembre (2).
Font: elaboració pròpia.

tià et al., 2004b). En aquests experiments s'observa una forta resposta dels ecosistemes pastorals de l'alta muntanya a l'augment de la temperatura, però no a la disminució d'aigua (Sebastià et al., 2004b). Trasplantades a zones més calen-

tes, mostres de pastures subalpines incrementen llur productivitat i disminueixen el nombre d'espècies (figura B5.7). 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). 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, varen augmentar llur abundància relativa, a expenses sobretot de gramínies típiques 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 (figura B5.8).

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 un augment de la mine-

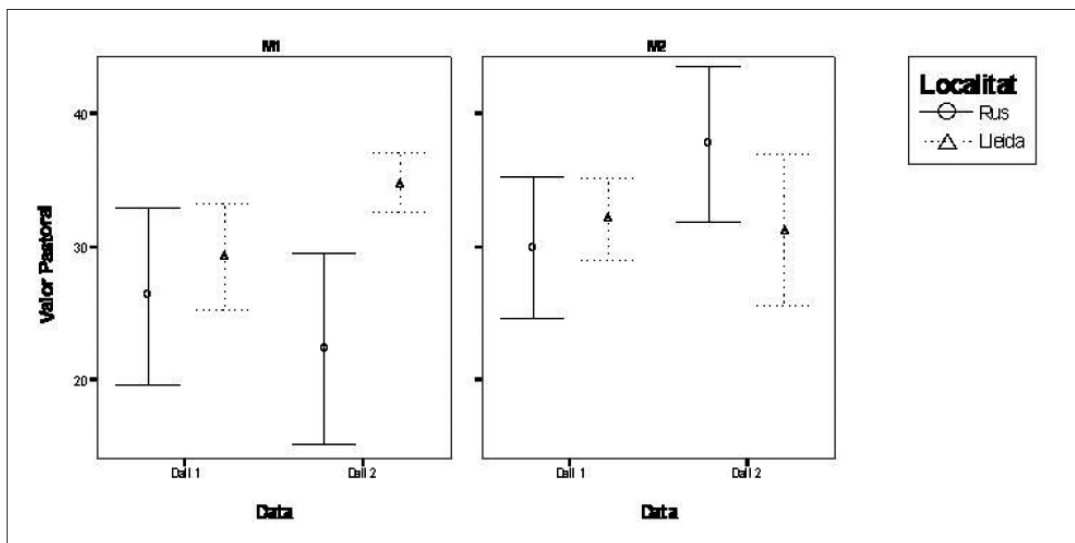


Figura B5.8. Canvis en el valor pastoral mitjà de dos prats subalpins del Pla de Rus (M1 i M2), a finals de juliol (dall 1) i mitjans de setembre (dall 2), en el conjunt de monòlits intactes de prats trasplantats a Lleida (triangles) i en els que es deixaren al prat a Rus (cercles). Es mostren els intervals de confiança del 95%.

Font: Sebastià, inèdit.

ralització de la matèria orgànica acumulada al sòl i la mobilització del reservori de nutrients sota condicions d'escalfament (Sebastià et al., 2004b), la qual cosa podria ser responsable de l'augment de la productivitat a curt termini. Preveure'n les conseqüències a llarg termini és molt més difícil i requereix elaborar 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 ampla i una disminució de la qualitat de les pastures. D'altra banda, l'augment de la productivitat observat podria ser transitori, produint-se l'efecte contrari un cop consumits els nutrients mobilitzats (taula B5.2). Canvis en la disponibilitat de nutrients com a conseqüència de pertorbacions locals poden determinar canvis importants en la composició florística, fins i tot a escala 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 farratgeres, en monocultiu o cultivades en barreges. Els prats de dall comparteixen moltes de les característiques dels prats seminatural, tot i que acostumen a estar més artificialitzats i presenten més entrades externes d'adobs, 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 d'altres zones dels Pirineus centrals i orientals n'hi ha prou amb l'aportació de les precipitacions i de 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 (Taüll et al., 2004). Una incorporació de sistemes d'irrigació o una millora dels existents que permetin un reg de suport esdevé necessari. En els escenaris de canvi climàtic, es pot preveure un increment en les demandes d'irrigació. Aquest increment en els requeriments hídrics es pot cobrir en moltes d'aquestes zones amb petits canvis en les infraestructures existents. Altrament, l'efecte final pot ser fàcilment un augment encara més gran de la despoblació i l'abandonament de les activitats agropecuàries, amb pèrdua de biodiversitat i de qualitat del paisatge. Pel que fa a les farratgeres cultivades acoblament amb la ramaderia extensiva en zones de muntanya, la situació seria similar a la descrita per als prats de dall.

B5.4.6. Altres sistemes pastorals

A les zones mediterrànies, a més dels prats relativament esponerosos desenvolupats en algunes zones més humides i arrecerades, de caràcter de transició i relacionats amb els anteriors, els sistemes d'interès pastoral representen una barreja de comunitats heterogènies, tant pel que fa a fisonomia com a funcionament. 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 esclerofil·les, els matollars dominats per labiades i cistàcies o 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 11.2). D'una banda, a zones àrides de la depressió de l'Ebre s'ha observat sobrepastura en zones incultes, com a conseqüència de la llaurada i la sembra de més terres de cultiu en

Agricultura i silvicultura Maria Teresa Sebastià, Pere Casals, Glòria Domínguez, Lluís Martí i Joan Costa

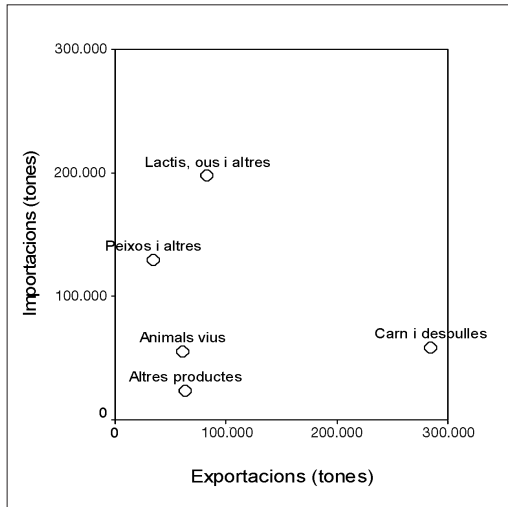


Figura B5.9. Relació entre les exportacions i les importacions a Catalunya l'any 2000 dels principals productes relacionats amb les activitats pecuàries.

Font: Institut d'Estadística de Catalunya.

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

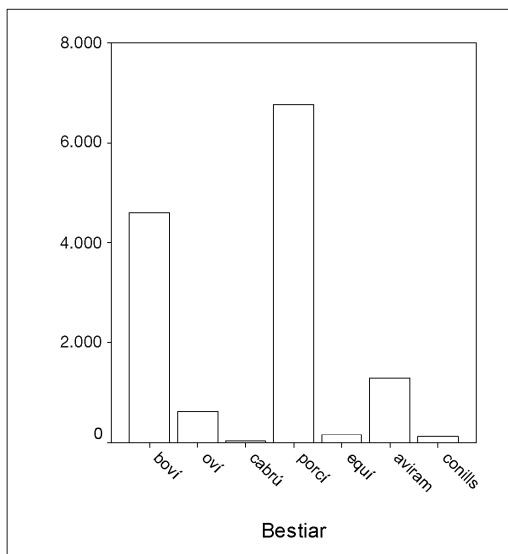


Figura B5.10. Producció de fems a Catalunya l'any 2000 (en milers de tones), per tipus de bestiar.

Font: Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya.

rurals la professió de pastor tendeix a desaparèixer, i s'hi produeix 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 sobreexplotació de les àrees més fàcilment accessibles i l'abandonament de les zones amb accessibilitat més difícil. 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 fer incrementar el risc d'incendi, el qual es pot veure agreujat durant l'hivern per una pujada de la cota de neu com a conseqüència de una menor innivació i de les temperatures més altes, la qual cosa dóna lloc a una major superfície de pastures i matollars assecats pel fred. Els incendis poden provocar també 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). A les zones amb més pastura per ovelles es trobà una diversitat més elevada que a les zones abandonades, en termes de riquesa d'espècies i d'equitat en les abundàncies d'aquestes espècies (Guardiola et al., 2004). Al Pirineu, el tipus de maneig pastoral que es practica té unes repercussions decisives sobre la diversitat, la vegetació i la productivitat dels ecosistemes pastorals (Taüll i Sebastià, 2002). Si es vol conservar aquests ecosistemes, tant des del punt de vista dels seus valors naturals com socioeconòmics, cal conèixer a fons la relació entre maneig pastoral i ecologia. Finalment, el manteniment de les àrees protegides ocupades per aquests sistemes, com són els parcs naturals o els espais de la xarxa Natura 2000, requereix una gestió apropiada.

B5.4.7. 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 tenen efectes importants sobre la producció animal. L'estrès 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, així com la mateixa supervivència del bestiar (Gates, 1993). Això podria implicar necessitats energètiques més grans en ventilació.

La renda generada per les activitats ramaderes és molt elevada en el context de totes les activitats agropecuàries que es realitzen a Catalunya (figura B5.2). L'any 2000, Catalunya va ser un exportador net de molts productes carnis importants (figura B5.9). Ara bé, el problema és la gestió que es fa dels residus que aquestes activitats agropecuàries generen (figura B5.10) i, especialment, com s'evita la seva contribució a la contaminació de les terres i dels aqüífers. Aquest problema es veu agreujat pel procés actual de concentració del bestiar en menys explotacions, però cada vegada més grans (figura B5.11).

A Europa, l'augment de la cabana de remugants ha estat moderat en el període entre 1961 i 1990, amb un increment del 33% (Sombroek i Gommès, 1997). A Catalunya, l'augment d'unitats ramaderes (UR) de remugants entre els anys 1982 i 1999 tingué una taxa de 0,45. La concentració d'animals que resulta dels mètodes moderns de cria de bestiar produeix certa preocupació entre l'opinió pública a causa d'olors indesitjables, la contaminació de les aigües i l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle procedents de les femtes (Reddy i Hodges, 2000). Pel que fa a aquest darrer punt, però, s'ha afirmat que la contribució dels residus ramaders a aquest tipus d'emissions és, probablement, relativament petita (Reddy i Hodges, 2000).

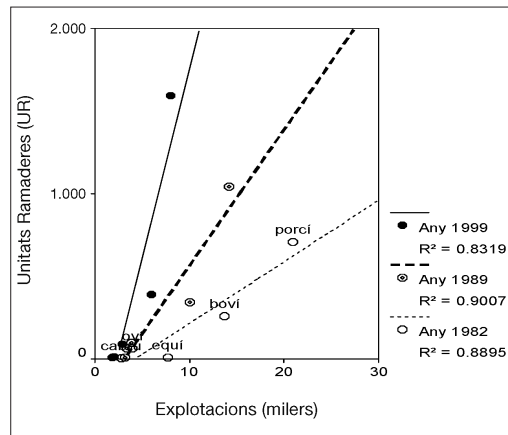


Figura B5.11. Evolució temporal de la relació entre el nombre de milers d'unitats ramaderes (UR) i el nombre de milers d'explotacions ramaderes a Catalunya, els anys 1982, 1989 i 1999. El tipus de bestiar està indicat en cada cas.

Font: Cens agrari. Institut d'Estadística de Catalunya.

El canvi climàtic també pot tenir un efecte significatiu sobre les malalties dels animals, moltes de les quals actualment estan limitades per restriccions climàtiques sobre els seus vectors o sobre els propis agents i el seu ambient. L'augment de la mobilitat de persones i animals també permetrà la introducció i la ràpida expansió de malalties entre països diferents, com s'ha vist recentment en el cas de la febre aftosa.

B5.4.8. Pesqueries

Els canvis en la temperatura de l'aigua, associades als canvis en els corrents marins comportaran modificacions importants en la distribució i la quantitat dels productes marins (Sombroek i Gommès, 1997). L'any 2000 a Catalunya es van obtenir un total de 44.673 tones de productes procedents de la pesca, sobretot peixos ossis. Catalunya és un importador net d'aquest tipus de productes, i va comprar a fora gairebé quatre cops més que el que es va obtenir localment aquell mateix any (figura B5.9).

A les costes catalanes, els desplaçaments d'espècies marines capturades habitualment al litoral cap a zones més profundes seguint temperatures

més frescals comencen a dificultar la pesca. També es comencen a detectar moviments nord-sud de les espècies piscícoles marines. Com a resultat d'aquestes tendències, per exemple, sembla que les captures d'anxova disminueixen, mentre es detecta l'arribada de peixos tropicals a les nostres costes.

B5.4.9. Silvicultura

Tot i que les respostes dels boscos al canvi climàtic s'analitzen amb més deteniment en un altre capítol d'aquest volum (vegeu Peñuelas et al. al capítol B9), en aquest apartat es tenen en compte alguns aspectes que poden ser rellevants de cara al desenvolupament d'una silvicultura sota condicions de canvi. 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 dels riscos naturals 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 (figura B5.2). Un altre aspecte important a tenir en compte és que, a més dels variats serveis sense mercat i les externalitats que els boscos de Catalunya proporcionen, aquests també són extraordinàriament multifuncionals en els seus productes de mercat i els productes no fusters sovint proporcionen un volum econòmic gens menyspreable.

La situació de l'aprofitament d'aquests productes silvícoles que no són fusta és heterogènia i sovint està poc regulada. Així, mentre l'aprofitament del suro és una activitat netament comercial (figura B5.12), 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 fusters dels boscos catalans són, en general, de baixa qualitat comercial, hi ha poca producció i, a més, no són competitiu en comparació amb altres mercats europeus, principalment del nord d'Europa (taula B5.3, figura B5.12). Així ho mostra el fet que la producció interior només cobreix un 29,5% de la fusta serrada, mentre que la fusta destinada a trituració va tenir un superàvit del 44,9% sobre el consum, considerant dades del 1996 (DGMN a Raddi, 1998).

L'ampla escala temporal amb què es gestionen els boscos, amb torns de 80-120 anys segons l'espècie i la zona, implica que els efectes del canvi climàtic es produiran, en general, en les masses arbòries que hi ha en aquests moments (Kellomäki et al., 2000). Sota escenaris de canvi climàtic, la competitivitat de la fusta catalana només pot disminuir en comparació amb els

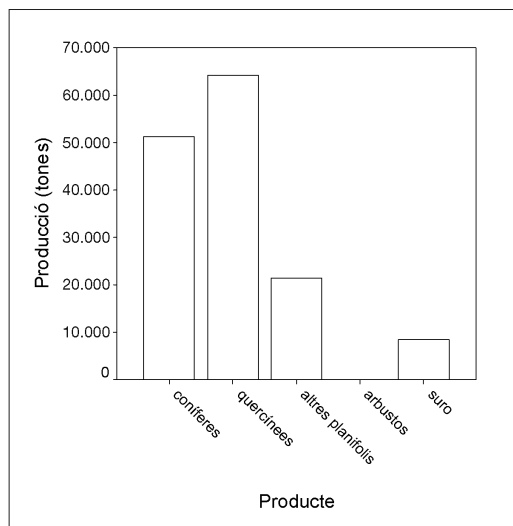


Figura B5.12. Producció de fusta, en tones, de diverses espècies (any 2000): coníferes, quercínees (alzines i roures), altres planifolis i arbustos, i producció de suro.

Font: Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya.

	Barcelona	Girona	Lleida	Tarragona	CATALUNYA
Coníferes (resinoses)					
Avet	44	17	801	-	862
Pi blanc	60.791	21.828	3.907	5.386	91.912
Pi insigne	2.432	10.378	-	-	12.810
Pi negre	5.290	2.135	3.472	-	10.897
Pi pinyer	14.492	20.369	-	52	34.913
Pi roig	97.845	28.960	23.925	797	151.527
Pinassa	38.294	3.925	62.931	1.126	106.276
Pinastre	3.282	18.136	-	39	21.457
Altres espècies	278	3.282	-	-	3.560
Total coníferes	222.748	109.030	95.036	7.400	434.214
Planifolis (frondoses)					
Alzines i roures	4.054	3.350	610	377	8.391
Castanyer	1.335	14.222	-	-	15.557
Eucaliptus	238	6.476	-	-	6.714
Faig	1.820	8.896	-	615	11.331
Freixe	169	487	84	-	740
Pollancre	8.168	32.819	1.862	-	42.849
Vern	569	827	205	-	1.601
Altres espècies	2.901	9.822	73	-	12.796
Total planifolis	19.254	76.899	2.834	992	99.979
TOTAL	242.002	185.929	97.870	8.392	534.193

(1) Dades referides als aprofitaments autoritzats.

Taula B5.3. Producció de fusta⁽¹⁾ el 2000, per espècies i províncies, en metres cúbics amb escorça
Font: Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Direcció de Serveis.

boscus europeus situats més al nord, els quals augmentaran la seva productivitat per efecte de l'escalfament i la fertilització en materials nitrogenats (Kellomäki et al, 2000).

La reducció en la rendibilitat dels productes forestals directament consumits pel mercat no pot sinó 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 la fomentin, l'abandonament de la gestió dels boscos per part dels seus propietaris per manca de competitivitat sota escenaris de canvi climàtic pot tenir re-

percussions indesitjables en termes de la seva protecció, i de l'increment del risc d'incendi. A aquest efecte s'afegeix un previsible augment de les zones boscoses a causa de l'abandonament de les activitats agrícoles de secà, amb un augment de la massa de bosc jove més vulnerable, i unes condicions climàtiques més càlides, amb un increment de l'evapotranspiració, fins i tot amb pluviositat comparable.

Convé analitzar la situació dels boscos a Catalunya diferenciant el bosc mediterrani (basal i montà) del bosc d'altitud (altimontà i subalpí) (taula B5.4). En general, els boscos són sistemes dominats per plantes perennes de vida llarga, i

Agricultura i silvicultura Maria Teresa Sebastià, Pere Casals, Glòria Domínguez, Lluís Martí i Joan Costa

	Superfície	Creixement de fusta	Aprofitaments forestals	Diversitat biològica	Productes secundaris	Usos recreatius i paisatgístics	Riscos naturals (incendis)	Embornal de carboni
BOSQUE 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 perdua de mosaic paisatgístic i interès micològic	Probabilitat més elevada per possible disminució de la precipitació a les zones de muntanya. Mediterrantització 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 apícola.	Manteniment	Risc d'incendi més elevat a causa de: 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 B5.4. Comparació dels canvis proposats per als boscos mediterranis i de muntanya catalans sota el supòsit de pujada de temperatures i manteniment de la pluviometria.
Font: elaboració pròpia.

presenten una resistència superior a d'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 sota condicions relativament arrecerades. No obstant, la desaparició brusca d'aquest sistema (per un incendi de gran extensió, com els de l'any 1994 al Berguedà o l'any 1998 al Solsonès) pot fer perillar la pròpia regeneració del bosc i dificultar la tornada a unes condicions originals sota un clima general que ara és poc favorable (tret que hi dominin les espècies rebrotadores, cas freqüent a Catalunya). De fet, s'ha dit que el bosc mediterrani dominat per quercínies és un relict de climes passats i que les condicions climàtiques actuals afavoririen comunitats arbustives dominades per ericàcies, cistàcies i labiades resistents a les condicions de sequera (Herrera, 1984). A llarg termini, aquesta 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 proporciona a altituds més elevades. A canvi, però, la supervivència dels boscos de muntanya es veurà amenaçada. 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 en condicions molt severes (Gracia et al., 2001), amb la qual cosa la superfície total decreixerà globalment. Alguns estudis duts a terme al Montseny semblen indicar que la substitució de les espècies montanes per espècies mediterrànies ja podria estar en marxa (Peñuelas i Boada, 2003).

Un efecte que pot actuar a favor de l'extensió de les zones boscoses és l'abandonament de terres

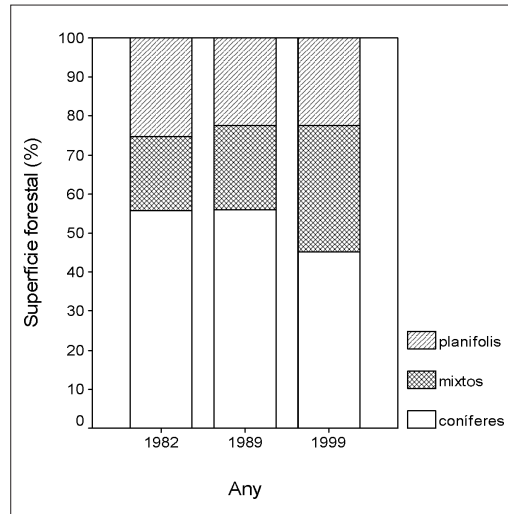


Figura B5.13. Variació al llarg del temps de la proporció de superfície forestal arbrada ocupada per coníferes, planifolis i boscos mixtos. Font: Institut d'Estadística de Catalunya. Cens agrari.

agrícoles. De fet, l'anàlisi de l'evolució de la proporció de terres ocupades per diferents tipus de bosc durant les dues darreres dècades mostren un decreixement relatiu de les coníferes i un increment dels planifolis i, particularment, dels boscos mixtos, la qual cosa podria suggerir processos de successió (figura B5.13).

El creixement dels boscos d'alta muntanya i la producció de fusta s'espera que serà més gran a causa de 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'abandonament de terres agrícoles en zones de muntanya, generalment situades en localitzacions microtopogràfiques més planes dins de l'orografia complexa de les nostres

muntanyes, pot afavorir el desenvolupament dels arbres i facilitar-ne l'extracció (Bayfield et al., 2003). 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 d'altres països amb creixements i regeneració millorades a causa del canvi climàtic, com poden ser els boreals (Kulls i Tullus, 2002; Broekke, 2002).

Alguns productes forestals no fusters de gran importància en els boscos mediterranis també poden ser amenaçats pel 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 a la major evaporació (Gracia et al., 2001). Diferències en la resistència a la sequera entre espècies del bosc mediterrani poden portar a canvis importants 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. Les migracions al llarg del gradient altitudinal, fins i tot quan són possibles, són més fàcils per a algunes espècies, sobretot les que mostren més mobilitat, com és el cas de molts animals, i més complicat per a d'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.

Pel que fa als usos recreatius i paisatgístics dels boscos catalans, les potencialitats per a l'ús recreatiu, tal i com es produeix actualment, seran les mateixes, i se'n podrà augmentar la utilització si s'allarga l'estació favorable per a les activitats a l'aire lliure, o disminuirà 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'abandonament de les activitats agropecuàries en les zones rurals amb un increment de la superfície de bosc, o si es produeixen grans incendis que afecten superfícies de moltes hectàrees.

Quant als riscos naturals, l'amenaça principal dels boscos catalans 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-Mugnosa 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 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 les zones on no són habituals fa que tant les conseqüències ecològiques com les econòmiques dels incendis siguin més greus. Els incendis en zones de mitja muntanya pot 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 mitja muntanya pot ser un factor addicional més als causats pel canvi climàtic (disminució de la producció, plagues, etc.) 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 (Martín-Vide, capítol A3 d'aquest informe).

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 grau d'aprofitament i de gestió per la disminució de la rendibilitat econò-

mica 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 perturbacions. Aquest fet es lliga també amb una disminució de la fragmentació dels espais agroforestals per transformació del sòl agrícola cap a forestal com a conseqüència de l'abandonament del territori, 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 resultats (Castro et al., 2003). Aquests i altres models poden proporcionar una eina prometedora en la detecció de les situacions de risc.

Pel que fa a 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 l'esmentada processionària del pi.

Els boscos proporcionen altres béns i serveis a la societat (vegeu Peñuelas et al., capítol B9 d'aquest llibre). Per exemple, ajuden a regular l'escorrentia en moments de molta pluja. A més, els sòls forestals constitueixen el principal magatzem de CO₂ dels ecosistemes terrestres. 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) es va apuntar 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 fer 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). No obstant, l'escala rellevant d'anàlisi d'aquests processos és 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 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 capçada i una reducció en l'assignació de carboni en els altres òrgans. A més, cal considerar que la fullaraca que hi ha al terra farà augmentar la respiració del bosc (Gracia et al., 2001).

B5.5. Observacions finals: reptes i oportunitats per a l'agricultura i la silvicultura catalanes en el context del canvi climàtic

A Catalunya, l'impacte del canvi climàtic sobre l'agricultura i la silvicultura depèn sobretot de la disponibilitat hídrica. Si hi ha bona disponibilitat hídrica, per exemple mitjançant una bona distribució i la racionalització en el seu ús, la productivitat pot veure's afavorida. L'aigua és un bé escàs i, amb el canvi climàtic, encara ho serà més. A més, l'ús de l'aigua per a l'agricultura ha de competir amb altres usos, com el domèstic, l'industrial o els cabals ecològics, i la creació de grans infraestructures és excessivament costosa per a aquests aprofitaments. Per tant, és molt important fer-ne un bon ús, millorant-ne la distribució i racionalitzant els sistemes de reg, utilitzant aquells que són més eficients i minimitzen les pèrdues.

La introducció de nous regadius s'ha de realitzar amb molta precaució, i les decisions s'han de

prendre amb molta cura si no es vol posar en perill la conservació del territori i dels seus valors naturals. Per exemple, l'ampliació de les zones de regadiu al pla de Lleida amenaça directament la supervivència d'espècies d'aus estèpiques, com ara el sisó, la ganga o la xurra i, per tant, calen estudis que permetin establir mesures correctores que minimitzin l'impacte i en garanteixin la conservació (Bota et al., inèdit).

Si s'aconsegueix resoldre el problema de l'aigua, l'agricultura catalana pot aprofitar l'efecte estimulador de la productivitat que tenen d'altres elements del canvi climàtic, com ara són l'activació del creixement per la temperatura i la fertilització pel CO₂. Però aquest mateix efecte podria portar a un augment de la demanda d'aigua per a l'agricultura en un moment en què es preveu una reducció en la seva disponibilitat. Ara bé, a causa de la complexa orografia del nostre territori, l'impacte del clima i la capacitat de resposta dels sistemes agrícoles dependrà molt de les condicions locals.

L'agricultura pot contribuir a la mitigació del canvi climàtic si s'adopten tècniques que promoguin la funció del sòl com a embornal del CO₂ (per exemple, mitjançant pràctiques agrícoles que afavoreixin l'acumulació de matèria orgànica, com els sistemes de conreu reduït o la utilització d'adobs orgànics). La reducció del consum de combustible també podria mitigar els efectes del canvi climàtic, tot i que aquesta darrera activitat representa una proporció petita en comparació amb la reducció que s'obtindria en d'altres sectors (Reicosky et al., 2000).

La capacitat d'adaptació depèn de factors polítics, tecnològics i socioeconòmics (Reilly, 1997). Una gran part de les plantes cultivades presenten una base genètica àmplia. S'estan assajant contínuament noves varietats de plantes de cultiu i races de bestiar arreu del món en diverses condicions de climes i sòls. És molt important tenir uns bons models predictors dels canvis climàtics, que permetin anticipar quins cultius

creixeran millor (i a on) i quines varietats seran més adients en els escenaris climàtics futurs. També és molt important comparar amb situacions que ara tenen un clima més càlid. Ara bé, no totes les espècies tenen la mateixa capacitat d'adaptació. A més, la resposta al canvi climàtic requereix ajustaments tecnològics. Aquests ajustaments s'han de fer en camps tan diversos com la millora genètica, la incorporació de recursos genètics nous, l'adopció de les tècniques agròniques més adients per a les noves condicions i, probablement, els canvis en les àrees de producció (Lawlor i Mitchell, 2000; Peet i Wolfe, 2000). L'exemple esmentat de la patata n'és un cas representatiu. El canvi en la utilització de varietats més primerenques i la modificació de les tècniques de maneig, amb un avançament de la plantació, sembla que permeten combatre amb eficàcia els efectes perjudicials de les elevades temperatures i estalvien a més en ús d'aigua (Miglietta et al., 2000).

Un altre factor en l'adaptació al canvi climàtic és la capacitat socioeconòmica de resposta al canvi. Les explotacions agrícoles catalanes són de mida petita, la qual cosa pot representar dificultats a l'hora d'introduir els ajustaments demandats. En el cens agrari de l'any 1999, el 44% de les explotacions catalanes eren més petites de 5 ha i el 75% més petites de 20 ha. En qualsevol cas, la Política Agrària Europea pot ser un instrument determinant per guiar l'adaptació a les noves condicions i esmorteir els efectes del clima. Ara bé, també pot limitar les opcions de resposta dels sistemes agrícoles, de manera que és fonamental que les noves polítiques europees considerin l'adaptació a situacions d'estrès climàtic (Iglesias, 2000).

En resum, l'adaptació de l'agricultura al canvi climàtic passa per la planificació d'una política de l'aigua que sigui racional i coherent amb les condicions de canvi climàtic locals, la potenciació de sistemes d'irrigació més eficients, el canvi en la gestió dels cultius, afavorint un tipus de producció adaptat a les noves condicions, el canvi de dates de plantació i de les pràctiques de

cultiu, i la selecció de cultius adaptats a les noves pràctiques (Deudon, 2001; Iglesias, 2000).

La situació és molt diferent pel que fa a la silvicultura. En general, les zones d'interès silvícola es troben en zones no irrigables i sotmeses a relativament poques entrades externes. L'efecte fertilitzant del CO₂ podria fer augmentar la productivitat dels boscos catalans, però la reducció de la disponibilitat hídrica continuaria sent un factor molt limitant. Els recursos fusters continuaran sent poc competitius en comparació amb els països del nord d'Europa, però la riquesa dels nostres de Catalunya rau, sobretot, en els productes secundaris i en les externalitats, sovint sense valor de mercat. Els boscos necessiten nous models i eines de política forestal que constitueixin un incentiu i, a l'hora, garanteixin la gestió dels espais forestals, malgrat que l'explotació de la fusta no sigui rendible i l'estructura dels nous espais forestals compliqui la seva gestió tradicional. Caldrà, doncs, fomentar una gestió orientada a disminuir la vulnerabilitat dels boscos davant dels incendis.

B5.6. Agraïments

Aquest capítol s'ha beneficiat de l'amabilitat i inestimable experiència de diversos col·legues i amics. Els autors volen agrair especialment la revisió de Josep Peñuelas, Jaume Lloveras i Ferran Rodà. També han estat valuosos els comentaris d'Eduard Plana, Carlos Colinas i Miquel Pascual. Els autors volen fer esment especial a les persones que han contribuït als projectes desenvolupats des de l'Àrea d'Ecologia Vegetal i Botànica Forestal del CTFC, particularment José M. Arenas, Francesco de Bello, Jordi García Pausas i Blas Mola. Maria Iniesta i Maria Valverde han contribuït en l'edició d'aquest capítol. Aquest treball ha estat possible gràcies al suport de diverses institucions i projectes, principalment la Xarxa Temàtica Catalana sobre Canvi Climàtic i el projecte CARBOCAT de la Generalitat de Catalunya, el CEAM de la Comunitat Autònoma Valenciana i els projectes CARBOMONT del Ve

Programa Marc de la Unió Europea i CarboEurope del VIè Programa Marc, el projecte CARBOPAS del Ministerio de Ciencia y Tecnología, la Fundació Territori i Paisatge, La Paeria de Lleida, el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya i la Universitat de Lleida.

Referències bibliogràfiques

- ALCAÑIZ, J.M.; BOIXADERA, J.; FELIPÓ, M.T.; ORTIZ, O.; POCH, R.M. *El sol i el canvi climàtic: el paper dels sòls de Catalunya en el canvi climàtic*. Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, 2004.
- ALMARZA, C. «Variaciones climáticas en España. Época instrumental». Servicio de Estudios BBVA, El Campo, núm. 137 (2000), p. 69-88.
- ALLEN Jr., L. H.; BAKER, J. T.; BOOTE, K. J. «L'effet fertilisant du CO₂: production et rétention accrues d'hydrate de carbone en termes de rendement en biomasse et en grain». A: BAZZAZ, F. A.; SOMBROEK, W. G. *Changes du climat et production agricole*. Roma-Paris: FAO, Polytechnica, 1997.
- ARP, W.J.; KUIKMAN, P.J.; GORISSEN, A. «Climate change: the potential to affect ecosystem functions through changes in amount and quality of litter». A: G. CADISH; K.E. GILLER (eds). *Driven by Nature: Plant litter quality and decomposition*. CAB International, 1997.
- ÁVILA, A.; ALARCÓN, M.; QUERALT-MITJANS, I. «The chemical composition of dust transported in red rains - its contribution to the biogeochemical cycle of a holm oak forest in Catalonia (Spain)». *Atmos. Environ.*, núm. 32 (1998), p. 179-191.
- ÁVILA, A.; PEÑUELAS, J.. «Increasing frequency of Saharan rains over northeastern Spain and its ecological consequences». *The Science of the Total Environment*, núm. 228 (1999), p. 15.
- BAKKENES, M.; ALKEMADE, J.R.M.; ILHE, F.; LEE-MANS, R.; LATOUR, J.B. «Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050». *Global Change Biology*, núm. 8 (2002), p. 390-407.
- BAYFIELD, N.; SEBASTIÀ, M.T.; DOMÍNGUEZ, G.; CASAMIQUELA, M.; SANZ, M.J. «Stakeholder perception of impacts of EU policy change and mountain landscapes: workshop at Alinyà valley, 11 June 2003». CARBOMONT report (2003)
- BELLAMY P.H.; LOVELAND, P.J.; BRADLEY, R.I. «Long term change in soil organic carbon in England and Wales». Cost 627 Meeting at Clermont-Ferrand, September 2003 (2003).
- BOBBINK, R.; HORNUNG, M.; ROELOFS, J.G.M. «The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation». *Journal of Ecology*, núm. 86 (1998), p. 717-738.
- BONET, A.; RITA, J.; SEBASTIÀ, M.T. «La flora mel-lifera de Barcelona». Barcelona: Diputació de Barcelona, 1985. (Estudis i Monografies, 7).
- BOTTNER, P.; COUTEAUX, M.M. «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, 1991, p. 39-45.
- BOWLES, G. «Facing the inevitable. Plants and increasing atmospheric CO₂». *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, núm. 44 (1993), p. 309-332.
- BROEKKE, F.H.; «Norway 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 N° 34, 2000.
- BROOKS, N.; LEGRAND, M. «Dust variability over northern Africa and rainfall in the Sahel». A: MCLAREN, S.; KNIVETON, D. *Linking Climate Change to Land Surface Change*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000, p. 1-25.
- BUNCE, J.A.; ZISKA, L.H. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Crop/Weed Interactions». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- CANALS, R.M.; SEBASTIÀ, M.T. «Analyzing mechanisms regulating diversity in rangelands through comparative studies: a case in the southwestern Pyrenees». *Biodiversity and Conservation*, núm. 9 (2000a), p. 965-984.
- CANALS, R.M.; SEBASTIÀ, M.T. «Soil nutrient fluxes and vegetation changes on molehills». *Journal of vegetation Science*, núm. 11 (2000b), p. 23-30.
- CANALS, R.M.; HERMAN, D.J.; FIRESTONE, M.K. «How disturbance by fossorial mammals alters N cycling in a California annual grassland». *Ecology*, núm. 4 (2003), p. 875 - 881.
- CANNELL, M.G.R.; SMITH, R.I. «Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees». *Journal of Applied Ecology*, núm. 23 (1986), p. 177-191.

- CASALS, P.; GARCIA PAUSAS, J.; ROMANYÀ, J.; SANZ, M.J.; CAMARERO, L.; SEBASTIÀ, M.T. «Effects of livestock management effects on carbon stocks and fluxes in grassland ecosystems in the Pyrenees». A: LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGHENIN, O.; LOBLIGER, M.; MILLAR, M.; SUTER, D. (eds.) «Land use Systems in Grassland dominated Regions». *Grassland Science in Europe*, vol. 9 (2004), p. 136-138.
- CASALS, P.; ROMANYÀ, J.; CORTINA, J.; BOTTLNER, P., COÛTEAUX, M.M.; VALLEJO, V.R. «CO₂ efflux from a Mediterranean semi-arid forest soil. I Seasonality and effects of stoniness». *Biogeochemistry*, núm. 48, (2000) p. 261-282.
- CASTRO, F. X.; TUDELA, A.; SEBASTIÀ, M.T. «Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain)». *Agricultural and Forest Meteorology*, núm. 116 (2003) p. 49-59.
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. «El cambio climático. Hacia una estrategia post-Kioto». Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo. Bruselas, 03 de junio de 1998.
- COÛTEAUX, M.M.; BOTTLNER, P.; ANDERSON, J.M.; BERG, B.; BOLGER, T.; CASALS, P.; ROMANYÀ, J.; THIÉRY, J.; VALLEJO, V.R. «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*, núm. 54 (2001) p. 147-170.
- CRUTZEN, P.J. «Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen including nitrous oxide». A: DELWICHE, C.C. (ed.). *Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide*. New York: Wiley, 1991, p. 17-44.
- DE BELLO, F.; TORRIGIANI, T.; SEBASTIÀ, M.T. «Influencia del pastoreo en la composición de la vegetación a lo largo de un gradiente climático». Actas de la XLII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (2002), p. 123-127.
- DELGADO, I.; ALBIOL, A.; OCHOA, M. J.; MUÑOZ, F. «Encuesta a pastores sobre valoración forrajera de la flora autóctona en Monegros». *ITEA*, vol. 18, núm. 1 (1997), p. 245-247.
- DELGADO, I.; OCHOA, M. J.; ALBIOL, A.; LUNA, L.; MUÑOZ, F. «Descripción y evaluación de la fitomasa presente en áreas no cultivadas de la comarca de Monegros». *PASTOS*, vol. 25, núm. 1 (1995), p. 87-97.
- DE LUIS, I. «Efectos del aumento de la concentración de CO₂ atmosférico en plantas de alfalfa fijadoras de nitrógeno bajo condiciones de estrés». Pamplona: Universidad de Navarra, 2000.
- DEUDON, O. «Changements climatiques. Quelles conséquences pour l'agriculture?». *Perspectives agricoles*, núm. 266 (2001), p. 44-61.
- DIJKSTRA, P.; SCHAPENDONK, A.H.C.M.; GROENWOLD, K. «Effects of CO₂ enrichment on canopy photosynthesis, carbon economy and productivity of wheat and faba bean under field conditions». A: VAN DE GEIJN, S.C.; GOUDRIAAN, J.; BERENDSE, F. *Climate change; crops and terrestrial ecosystems (Agrobiologische Thema's, 9)*. Wageningen: cabo-dlo, 1993.
- DOMÍNGUEZ, G.; PLANA, E. «The paradox of Mediterranean forests; between economic profitability and social demands. The Catalan case». A: WIERSUM, K.F.; ELANDS, B.H.M. *The changing role of forestry in Europe: perspectives for rural development*. Wageningen: Forest and Nature Conservation Policy Group, Wageningen University, 2002.
- DRAKE, B.G.; AZCÓN-BIETO, J.; BERRY, J.; BUNCE, J.; DIJKSTRA, P.; FARRAR, J.; GIFFORD, R.M.; GONZÁLEZ-MELER, M.A.; KOCH, G.; LAMBERS, H.; SIEDOW, J.; WULLSCHLEGER, S. «Does elevated CO₂ concentration inhibit mitochondrial respiration in green plants?». *Plant, Cell and Environment*, núm. 22 (1999), p. 649-657.
- EPSTEIN, H.E.; WALKER, M.D.; CHAPIN III, F.S.; STARFIELD, A.M. «A transient, nutrient-based model of Arctic plant community response to climate warming». *Ecological Applications*, núm. 10 (2000), p. 824-841.
- EVANS, T.E. «Les effets des changements dans le cycle hydrologique mondial sur la disponibilité des ressources en eau». A: BAZZAZ, Fakhri A.; SOMBROEK, Wim G. *Changements du climat et production agricole*. Roma-Paris: FAO, Polytechnica, 1997.
- GARCIA-PAUSAS, J.; CASALS, P.; CAMARERO, L.; HUGUET, C.; ROMANYÀ, J. «Contenido de carbono edáfico en sistemas pratenses 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, 2-3 julio* (2003), p. 39.
- GATES, D. M. *Climate change and its biological consequences*. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 1993.
- GRACIA, C.; SABATÉ, S.; SÁNCHEZ, A. «El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo». *Actas del III Congreso Forestal Español*. Sociedad Española de Ciencia Forestales, 2001.
- GUARDIOLA, M.; de BELLO, F.; TAULL, M.; SEBASTIÀ, M.T. «Spatio-temporal changes in structural patterns in subalpine grasslands under different environmental conditions and management regimes». A:

- LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGHENIN, O.; LOBIGER, M.; MILLAR, M.; SUTER, D. (eds.) «Land use Systems in Grassland dominated Regions». *Grassland Science in Europe*, vol. 9 (2004), p. 296-298.
- GUEREÑA, L.B.; RUIZ-RAMOS, M.; DÍAZ-AMBRONA, C.H., CONDE, J.R.; MÍNGUEZ, M.I. «Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models». *Agron. Journal*, núm. 93 (2001), p. 237-249.
- GUO, L.B.; GIFFORD, R.M. «Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis». *Global Change Biology*, núm. 8 (2002), p. 345-360.
- GUTIERREZ, A. P. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Pests and Population Dynamics». A: REDDY, K. Raja; HODGES, Harry F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- HARPER, L.A.; SHARPE, R.R.; LANGDALE, G.W.; GIDDENS, J.E. «Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil plant and aerial nitrogen transport». *Agron. Journal*, núm. 79 (1987), p. 965-973.
- HERRERA, C. M. «Tipos morfológicos y funcionales en plantas leñosas del matorral mediterráneo del sur de España». *Studia Oecologica*, núm 5 (1984), p. 7-34.
- HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; van der LINDEN, P.J.; DAY, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. *Climate Change, 2001. The scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- ICONA «II Inventario Forestal Nacional 1986-1994. Cataluña». Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994.
- IGLESIAS, A. «Impacto del cambio climático en la agricultura: escenarios para la producción de cultivos en España». Servicio de Estudios BBVA, (2000), p. 183-199. (El Campo, 137).
- INCLÁN, R.; RIBAS, A.; PEÑUELAS, J.; GIMENO, B.S. «The relative sensitivity of different Mediterranean plant species to ozone exposure». *Water, Air, and Soil Pollution*, núm. 116 (1999), p. 273-277.
- KAMOSKY, D.F.; ZAK, D.R.; PREGITZER, K.S.; AW-MACK, C.S.; BOCKHEIM, J.G.; DICKSON, R.E.; HENDREY, G.R.; HOST, G.E.; KING, J.S.; KOPPER, B.J.; KRUGER, E.L.; KUBISKE, M.E.; LINDROTH, R.L.; MATTSON, W.J.; McDONALD, E.P.; NOORMETS, A.; OKSANEN, E.; PARSONS, W.F.J.; PERCY, K.E.; PODILA, G.K.; RIEMENSCHNEIDER, D.E.; SHARMA, P.; THAKUR, R.; SÖBER, A.; SÖBER, J.; JONES, W.S.; ANTONEN, S.; VAPAAVUORI, E.; MANKOVSKA, B.; HEILMAN, W.; ISEBRANDS, J.G. «Tropospheric O₃ moderates responses of temperate hardwood forests to elevated CO₂: a synthesis of molecular to ecosystem results from the Aspen FACE project». *Functional Ecology*, vol. 17, núm. 3 (2003), p. 289-304.
- 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 N° 34, 2000.
- KULL, O.; TULLUS, H.; «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 N° 34, 2000.
- KUKLA; KARL, G. «Nighttime Warming, and the Greenhouse Effect». *Environmental Science and Technology*, vol. 27, núm. 8 (1993), p. 1.468-1.474.
- LAWLOR, D. W.; MITCHELL, R. A.C. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Wheat». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- LLEBOT, J. E. *El canvi climàtic*. Barcelona: Rubes Editorial SL-Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, 1997.
- MARTÍN-VIDE, J. *La situació climàtica de Catalunya*. Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, 2004.
- MARTÍNEZ-VILALTA, J.; PIÑOL, J.; BEVEN, K. «A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean». *Ecological Modelling*, núm. 155 (2002), p. 127-147.
- McKERSIE B.D.; LESHEM, Y.Y. *Stress and Stress Coping in Cultivated Plants*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994, p. 256
- MIGLIETTA, F.; BINDI, M.; VACCARI, F. P.; SCHAPENDONK, Ad. H.C.M.; WOLF, J.; BUTTERFIELD, R. E. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Root and Tuberos Crops». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- MOSELLO, R.; LAMI, A.; MARCHETTO, A.; ROGORA, M.; WATHNE, B.; LIEN, L.; CATALAN, J.; CAMARERO, L.; VENTURA, M.; PSENNER, R.; KOINIG, K.; THIES, H.; SOMMARUGA-WÖGRATH, S.; NICKUS, U.; TAIT, D.; THALER, B.; BARBIERI, A.; HARRIMAN, R. 2002. «Trends in the chemical composition of high altitude lakes selected for the MOLAR project». *Water Air and Soil Pollution. Focus*, núm 2 (2002), p. 75-89.
- OGAYA, R.; PEÑUELAS, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MANGIRÓN, M. «Effect of drought on diameter incre-

- ment of *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia*, and *Arbutus unedo* in a holm oak forest of NE Spain». *Forest Ecology and Management*, núm. 180 (2003), p. 175-184.
- PEET, M. M.; WOLFE, D. W. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Vegetable Crops». A: REDDY, K. Raja; HODGES, Harry F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- PEÑUELAS, J.; BIEL, C.; ESTIARTE, M. «Growth, biomass allocation, and phenology responses of pepper to elevated CO₂ concentrations and different water and nitrogen supply». *Photosynthetica*, vol. 31, núm. 1 (1995), p. 91-99.
- PEÑUELAS, J.; ESTIARTE, M.; KIMBAL, B.A.; IDSO, S.B.; PINTER Jr, P.J.; WALL, G.W.; GARCIA, R.L.; HANSAKER, D.J.; LaMORTE, R.L.; HENDRIX, D.L. «Variety of responses of plant phenolic concentration to CO₂ enrichment». *Journal of Experimental Botany*, vol. 47, núm. 302 (1996), p. 1.463-1.467.
- PEÑUELAS, J.; RIBAS, A.; GIMENO, B.S.; FILELLA, I. «Dependence of ozone biomonitoring on meteorological conditions of different sites in Catalonia (NE Spain)». *Environmental Monitoring and Assessment*, núm. 56 (1999), p. 221-224.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; COMAS, P. «Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region». *Global Change Biology*, núm. 8 (2002), p. 531-544.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; SABATÉ, S.; GRACIA, C. *Sistemes naturals: ecosistemes terrestres*. Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, 2004.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. «A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)». *Global Change Biology*, núm. 9 (2003), p. 131-140.
- RADDI, A. *El mercat dels productes forestals a Catalunya*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 1998.
- REDDY, K. R.; HODGES, H. F. «Climate Change and Global Crop Productivity: an Overview». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- REICOSKY, D. C.; HATFIELD, J. L.; SASS, R. L. «Agricultural Contributions to Greenhouse Gas Emissions». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.
- REILLY, J. «Changement de climat, agriculture globale et vulnérabilité régionale». A: BAZZAZ, Fakhri A.; SOMBROEK, Wim G. *Changements du climat et production agricole*. Roma-Paris: FAO, Polytechnica, 1995.
- RETANA, J.; ESPELTA, J.M.; HABROUK, A.; ORDÓÑEZ, J.L.; SOLÀ-MORALES, F. «Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in NE Spain». *Ecoscience*, núm. 9 (2002), p. 89-97.
- RODÀ F.; AVILA A.; RODRIGO A. «Nitrogen deposition in Mediterranean forests». *Environmental Pollution*, núm. 118 (2002), p. 205-213.
- RODO, X.; COMIN, F.A. «Links between Large-Scale Anomalies, Rainfall and Wine Quality in the Iberian Peninsula during the Last Three Decades». *Global Change Biology*, núm. 6 (2000).
- ROMANYÀ, J.; CORTINA, J.; FALLOON, P.; COLEMAN, K.; SMITH, P. «Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* on Mediterranean agricultural soils». *European Journal of Soil Science*, núm. 51 (2000), p. 627-641.
- ROTH, S.K.; LINDROTH, R.L. «Elevated atmospheric CO₂: effects of phytochemistry, insect performance and insect-parasitoid interactions». *Global Change Biology*, núm. 1 (1995), p. 173-182.
- RUSTAD, L.E.; CAMPBELL, J.L.; MARION, G.M.; NORBY, R.J.; MICHELL, M.J.; HARTLEY, A.E.; CORNELISSEN, J.H.C.; GUREVITCH; GCETE-NEWS. «A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming». *Oecologia*, núm. 126 (2001), p. 543-562.
- SALA, O.; CHAPIN III, F.S.; ARMESTO, J.J.; BERLOW, E.; BLOOMFIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L.F.; JACKSON, R.B.; KINZIG, A.; LEMANS, R.; LODGE, D.M.; MOONEY, H.A.; OESTERHELD, M.; N.L. POFF; SYKES, M.T.; WALKER, B.H.; WALKER, M.; WALL, D.H. «Global biodiversity scenarios for the year 2010». *Science*, núm. 287 (2000), p. 1.770-1.774.
- SANZ, M.J., COSÍN, S., BORONAT, M., LÓPEZ, R., GIMENO, C., GARCIA-PAUSAS, J., SEBASTIÀ, M.T. «Carbon fluxes from a grassland in the Pyrenees». Lisbon: *CarboEurope project meetings, 17-19 March, 2003 and CarboEurope Conference 'The continental carbon cycle', 19-21 March, 2003, 2003*.
- SCARASCIA-MUGNOZZA, G.; MATTEUCCI, G.; MAGNANI, F., BORGHETTI, M.; «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 N° 34, 2000.

- SCHJOERRING, J.K.; MATTSON, M. «Quantification of ammonia exchange between agricultural cropland and the atmosphere: Measurements over two complete growth cycles of oilseed rape, wheat, barley and pea». *Plant and Soil*, núm 228 (1993), p. 105-115.
- SEBASTIÀ, M.T. «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*, núm. 5 (2004).
- SEBASTIÀ, M.T.; CANALS, R.M.; GAMARRA, J.G.P. «After sigmatism: what we learned about spatiotemporal changes in grassland communities after 10 years». *Acta Botanica Barcinonensis*, núm. 45 (1998), p. 587-602.
- SEBASTIÀ, M. T.; CAÑAS, J. *Les pastures de la muntanya mitjana catalana. Estudis ecològics i agronòmics de les pastures del Catllarà i Sant Jaume de Frontanyà (Alt Berguedà, Barcelona)*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 1985.
- SEBASTIÀ, M.T.; LÜSCHER, A.; CONNOLLY, J.; COLLINS, R.; DELGADO, I.; DE VliegHER, A.; EVANS, P.; FRANKOW-LINDBERG, B.; HELGADÓTTIR, A.; ILIADIS, C.; JØRGENSEN, M.; KAD IULIENE, Z.; NISSINEN, O.; NYFELER, D.; PORQUEDDU, C. «Higher yield and fewer weeds in grass/legume mixtures than in monocultures – 12 sites of COST action 852». A: LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGHENIN, O.; LOBINGER, M.; MILLAR, M.; SUTER, D. (eds.) «Land use Systems in Grassland dominated Regions». *Grassland Science in Europe*, vol. 9 (2004), p. 483-485.
- SEBASTIÀ, M.T.; MOLA, B.; ARENAS, J.M.; CASALS, P. «Biomass responses of subalpine grasslands in the Pyrenees under warming conditions». A: LÜSCHER, A.; JEANGROS, B.; KESSLER, W.; HUGHENIN, O.; LOBINGER, M.; MILLAR, M.; SUTER, D. (eds.) «Land use Systems in Grassland dominated Regions». *Grassland Science in Europe*, vol. 9 (2004), p. 290-292.
- SHAVER, G.R.; CANADELL, J.; CHAPIN III, F.S.; GUREVITCH, J.; HARTE, J.; HENRY, G.; INESON, P.; JONASSON, S.; MELILLO, J.; PITELKA, L.; RUSTAD, L. «Global warming and terrestrial ecosystems: A conceptual framework for analysis». *Bioscience*, núm. 10 (2000), p. 871-882.
- SOMBROEK, W. G.; GOMMES, R. «L'énigme: changement de climat-agriculture». A: BAZZAZ, F. A.; SOMBROEK, W. G. *Changements du climat et production agricole*. Roma-Paris: FAO, Polytechnica, 1997.
- SUÁREZ, F.; SAINZ, H.; SANTOS, T.; GONZÁLEZ, F. *Las estepas ibéricas*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 1992.
- SUTTON M.A.; MILFORD, C.; NEMITZ, E.; THEOBALD, M.R. et al. «Biosphere-atmosphere interactions of ammonia with grasslands: Experimental strategy and results from a new European initiative». *Plant and Soil*, núm. 228 (2001) p. 131-145.
- TARDIF, J.; CAMARERO, J. J.; RIBAS, M.; GUTIÉRREZ, E. «Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: climatic and site influences». *Ecological Monographs*, vol. 73, núm. 2 (2003), p. 241-257.
- TAÜLL, M.; SEBASTIÀ, M.T. «Estructura y productividad de diversas comunidades en el Pirineo Central según el tipo de pastoreo». *Actas de la XLII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos* (2002), p. 183-188.
- TAÜLL, M.; CASALS, P.; SEBASTIÀ, M.T. «Valoración de los recursos pastorales de la comarca de la Alta Ribagorça (Pirineos Centrales): Repercusión sobre el proceso de conversión a agricultura ecológica». *Actas de la XLIV Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos* (2004).
- VALLEJO, V. R. (ed.). *La restauración de la cubierta vegetal en la comunidad Valenciana*. València: Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), 1997.
- VÉLEZ, R. «Líneas de actuación del gobierno español en la prevención de los incendios forestales». A: *I forum sobre prevención de incendios forestales*. Barcelona: Diputació de Barcelona, 2000. (Quaderns d'informació tècnica).
- VILÀ, M.; SARDANS, J. «Plant competition in mediterranean-type vegetation». *Journal of Vegetation Science*, núm. 10 (1999), p. 281-294.
- YOUNG, K. J.; LONG, S. P. «Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Maize and Sorghum». A: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. *Climate Change and Global Crop Productivity*. Oxon: CABI Publishing, 2000.