

SILVICULTURA I CANVI CLIMÀTIC

Pau Vericat i Grau

Enginyer de Forest. Àrea de Gestió Forestal Sostenible, CTFC

Lluís Coll Mir

Dr. Enginyer de Forest. Grup de Funcionament i Dinàmica del Bosc, CTFC

Glòria Domínguez i Torres

Dra. Enginyera de Forest. Àrea de Política Forestal, CTFC

Míriam Piqué i Nicolau

Dra. Enginyera de Forest. Àrea de Gestió Forestal Sostenible, CTFC

1. INTRODUCCIÓ

L'any 1898, el científic suec Svante Arrhenius va advertir de que les emissions de diòxid de carboni (CO₂) podien conduir a un escalfament global. No va ser fins els anys 70 del segle XX però, que la comunitat científica va prendre consciència de la situació i va portar el tema a discussió en cercles més amplis. Per tal de proporcionar als decisors polítics i al públic en general informació sòlida sobre els avenços científics en la matèria, l'any 1988 el programa ambiental de Nacions Unides (UNEP) i l'Organització Mundial de Meteorologia (WMO) van establir el Panell Intergovernamental sobre Canvi Climàtic (IPCC). La missió principal de l'IPCC va ser avaluar l'estat del coneixement sobre el clima i el canvi climàtic i possibles respostes estratègiques. El primer informe del panell va ser publicat l'any 1990 i en el segon informe (l'any 1995) va ser reflectit per primera vegada l'origen antròpic del canvi climàtic.

La preocupació vers al canvi climàtic ha continuat creixent al llarg dels anys i altres institucions relacionades amb el canvi climàtic han anat apareixent i consolidant-se, com la United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) que va crear-se l'any 1994, amb l'objectiu principal d' "aconseguir l'estabilització de les concentracions dels gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera que interfereixen amb el sistema climàtic" (UNFCCC 1994).

2. RELACIÓ ENTRE BOSCOS I CANVI CLIMÀTIC

Des dels inicis de l'augment d'interès mundial pel canvi climàtic, els boscos van acaparar l'atenció pel seu paper de possible magatzem de carboni. Aquest interès mundial es va traduir als principals documents de política forestal a nivell europeu. Així, per exemple a l'estratègia Forestal Europea (1998) ja se'n feia especial menció identificant que el paper dels boscos com a embornal i magatzem de carboni podia ser millorat a través de la gestió forestal sostenible.

L'estratègia forestal europea identificava que el "*paper dels boscos com a embornal i magatzem de carboni es pot garantir millor a través de la gestió forestal sostenible*" (Article 13). El mateix document (Council of the European Union 1998) també indicava que la contribució de la UE i dels estats membres a les estratègies de canvi climàtic es podia aconseguir millor a "*través de la protecció i la millora dels estocs de carboni*

existents, l'establiment de nous i l'encoratjament de l'ús de la biomassa i productes forestals” (Article 13)

El paper atorgat als boscos en la mitigació del CO₂ atmosfèric és innegable. A la vegada, va anar creixent la consciència de que fins i tot en el cas de que les emissions s'estabilitzessin, l'increment de temperatura i els impactes associats continuarien varies dècades. D'aquesta manera, en el sí de la UNFCCC i d'altres organitzacions de les Nacions Unides va anar creixent l'atenció cap als impactes i les estratègies d'adaptació. Així, per exemple, en la revisió de la esmentada estratègia forestal europea (ECOM 2005) ja es diu que:

“També resulta evident la recent necessitat d'avaluar les repercussions del canvi climàtic als ecosistemes forestals i d'elaborar mesures d'adaptació a aquestes repercussions. En el futur s'hauran de tenir en consideració no només les mesures de mitigació (reducció dels gasos d'efecte hivernacle) sinó també les mesures d'adaptació (adaptació dels boscos a un clima canviant”.

Els impactes sobre els boscos van ser ràpidament focus d'atenció, per causa de la seva multifuncionalitat i intersectorialitat, els boscos i els espais forestals proporcionen a la societat nombrosos bens i serveis que inclouen aliment, productes comercials, medicines, biodiversitat, magatzem de carboni i oportunitats per al lleure. A més a més, els boscos regulen els cicles biogeoquímics i contribueixen a la conservació d'aigües i sols. Canvis en el clima global i en la composició atmosfèrica tindran probablement impactes en la majoria d'aquests bens i serveis, i en els sistema socioeconòmic (Winnett 1998).

Més recentment, altres veus alerten que els impactes sobre els ecosistemes naturals seran més grans que sobre ecosistemes artificials, com l'agricultura (Hitz i Smith 2004). El 4rt informe d'Avaluació del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el canvi climàtic (IPCC) considera els boscos mediterranis com un dels àmbits amb impactes més negatius pel que fa al canvi climàtic (Sánchez *et al.* 2004; Alcamo *et al.* 2007) juntament amb l'Àrtic i zones humides del Bàltic.

Com diu el títol d'un dels treballs de l'IPCC, la societat necessita “evitar el que no es pot gestionar i gestionar el que no es pot evitar” (Scientific Expert Group -SEG- 2007). Així doncs, el pensament en vers als boscos i el canvi climàtic s'articula a través de 3 eixos, la mitigació, la vulnerabilitat i l'adaptació.

Mitigació

En relació a la mitigació, els aspectes més importants en el debat actual són:

- La implementació de mesures destinades al segrest de carboni (incloses la forestació i la repoblació forestal).
- L'ús de biomassa com a proveïdor energètic per reduir l'ús de fonts energètiques basades en els combustibles fòssils.
- La conservació de boscos madurs. Aquests boscos, encara que pràcticament no segrestin carboni, mantenen fixat el de la biomassa i el sòl (Terradas 2007).

Hi ha nombroses iniciatives en aquest àmbit com ara el programa REDD de Nacions Unides, un programa per la reducció d'emissions provinents de la deforestació i la

degradació forestal amb l'objectiu principal de combatre el canvi climàtic creant incentius per a revertir les tendències de deforestació.

Vulnerabilitat

Quan es parla de vulnerabilitat en boscos, sovint es fa menció a: processos forestals, perturbacions, biodiversitat i beneficis socioeconòmics dels boscos (Joyce *et al.* 2001).

- Els processos forestals regulen els fluxos de carboni, aigua, nutrients i altres constituents. Aquests processos actuen a diferents escales que van des de l'escala de fulla a l'escala de paisatge i influeixen en les respostes dels ecosistemes pel que fa a productivitat en front a factors com temperatura, precipitació o concentracions atmosfèriques de CO₂.
- Els boscos estan sotmesos a perturbacions que a la vegada estan influïdes pel clima. Entre aquestes perturbacions naturals poden mencionar-se els incendis, les tempestes, els tornados, sequera, plagues i entrada de noves espècies.
- Pel que fa a la biodiversitat, el clima té influència en la distribució i abundància de plantes i animals a través de la cadena tròfica, l'hàbitat i la supervivència.
- Els processos forestals i la diversitat biològica dels ecosistemes forestals proporcionen bens i serveis a la societat (com fusta, fruits i plantes per a recol·lectar) però també serveis com la cacera, paisatge, qualitat en l'aigua i l'aire, etc.

Adaptació

Les mesures d'adaptació són potser la part més important i en la que queda un camí més llarg per recórrer. L'any 2007 la comissió europea va publicar l'anomenat "European Commission's Green Paper on Adaptation" (2007), que va iniciar els processos d'adaptació política a nivell Europeu, i es va iniciar el procés de redacció del "Commission White Paper on Adaptation" que hauria d'estar publicat a finals del 2008. En l'àmbit forestal les propostes tot just comencen a emergir (Regato 2008). L'agost de 2008, es va celebrar una conferència sobre l'adaptació dels boscos i la gestió forestal sostenible al canvi climàtic amb especial èmfasi a la salut forestal. Aquesta conferència, organitzada per la FAO, va produir uns documents finals en els que es proposava el canvi de la gestió reactiva per una adaptació planificada basada en el seguiment i l'avaluació del risc. També anunciava que "*el sector forestal ha d'aprendre a viure i comunicar l'incertesa*", l'adaptació i la mitigació s'han de veure com a temes que afecten la qualitat de vida a nivell molt local.

3. CONSEQÜÈNCIES DEL CANVI CLIMÀTIC EN EL FUNCIONAMENT I DINÀMICA DELS SISTEMES FORESTALS

Per la seva localització, els sistemes mediterranis en general i els boscos catalans en particular presenten una alta sensibilitat als diferents components de l'anomenat canvi global. És important en aquest punt incidir en el fet que el canvi global va més enllà del canvi climàtic i inclou altres factors com les variacions del règim atmosfèric o els canvis en l'ús del sòl que afecten tant o més la dinàmica i funcionament dels sistemes forestals (Llebot *et al.*, 2005).

A més els diferents factors no són independents i es relacionen entre ells. Com ja s'ha esmentat, l'augment de la concentració de CO₂ atmosfèric, per exemple, és un dels

principals causants de l'efecte hivernacle i per tant de l'increment de la temperatura ambient (IPCC 2001). En un altre context, l'augment del risc d'incendi en els sistemes mediterranis derivat de l'acumulació de combustible en el bosc per l'abandó de les activitats silvopastorals tradicionals es veu accentuat significativament per l'augment de la sequera prevista com a conseqüència del canvi climàtic (Pausas 2004).

Així doncs, els efectes del canvi climàtic sobre els boscos són incerts, variats i complexos, i presenten interaccions amb factors d'ordre cultural, polític i socioeconòmic. És per tot això, que predir les conseqüències del canvi global en l'evolució dels ecosistemes forestals és una tasca complexa que cal tractar amb prudència i rigor.

A continuació es revisen de manera general els principals factors associats al canvi climàtic que poden incidir en el funcionament dels boscos catalans i la resposta previsible de les espècies i els sistemes forestals a les noves condicions ambientals

3.2. Amenaces del canvi climàtic per al funcionament dels sistemes forestals

3.2.1. Augment de la temperatura ambiental i dels episodis de sequera

L'efecte hivernacle produirà probablement un augment de la temperatura i de la sequera en els sistemes forestals de Catalunya com a conseqüència de la reducció del contingut hídic del sol derivat de l'augment de la temperatura i de la demanda evaporativa atmosfèrica (Piñol *et al.* 1998, Peñuelas *et al.* 2004). Les simulacions realitzades mitjançant el model GOTILWA+ (Gracia *et al.* 1999), a partir de les dades recollides en un ampli estudi conduït en 147 parcel·les forestals distribuïdes arreu de la geografia catalanes, preveuen una reducció d'un 25% de la reserva hídrica del sòl forestal en el curs dels propers 40 anys (Gracia *et al.* 2002).

3.2.2. Alteració del règim de perturbacions (incendis, plagues, tormentes-episodis climàtics extrems)

Es preveu que el nou context climàtic incideixi tant en el règim de perturbacions causades per agents biòtics com en aquelles de tipus abiòtic (incendis i episodis climàtics extrems). Entre les primeres, l'augment de la temperatura ambiental pot provocar l'extensió d'algunes plagues i enfermetats al millorar les condicions òptimes del seu desenvolupament (Hódar *et al.* 2004).

A nivell abiòtic, sembla lògic esperar que les noves condicions ambientals intensifiquin el règim d'incendis. En efecte, l'augment de la freqüència de dies estivals amb temperatures altes i humitats baixes, comportarà probablement un augment del risc d'incendi en els sistemes mediterranis (Terradas 1996).

Finalment, estudis recents prediuen un increment de les perturbacions associades a episodis climàtics extrems (p.ex. onades de calor, ventades) en els ecosistemes forestals (IPCC 2001).

3.2.3. Espècies exòtiques

És preveu que el canvi climàtic afavoreixi una certa expansió d'espècies exòtiques en el medi forestal (Dukes i Mooney, 1999) ja que, en molts casos, aquestes es beneficien en

major grau de les noves condicions ambientals (a través d'una major eficiència en la utilització dels recursos) que aquelles natives (Regato 2008). No obstant, la proliferació d'espècies exòtiques en els boscos de Catalunya no és només conseqüència del canvi climàtic ja que es relaciona fortament amb la disminució de les anomenades 'barreres biogeogràfiques amb l'increment del turisme i la globalització de les activitats comercials (Terradas 2001, Thuiller *et al.* 2005a).

3.3. Efectes i conseqüències ecològiques sobre les espècies i sistemes forestals

3.3.1. Canvis fenològics

Les noves condicions ambientals, i en particular l'augment de la temperatura, incideixen directament en la fenologia de les espècies vegetals. Per exemple, s'ha observat l'anticipació d'algunes setmanes del període de brot i floració en un nombre important d'espècies en el curs dels darrers anys així com un retard en el període de caiguda de les fulles (Peñuelas *et al.* 2002). Aquests canvis poden provocar una alteració important de les relacions tròfiques entre les plantes i els animals (p.ex. insectes, ocells) i provocar canvis dràstics en funcionament dels ecosistemes (Peñuelas i Filella 2001).

3.3.2. Canvis fisiològics

En general, l'augment de la concentració del CO₂ atmosfèric augmenta la productivitat dels sistemes forestals mitjançant l'increment de l'activitat fotosintètica de les fulles. No obstant, en els sistemes mediterranis aquest efecte no és tant clar ja que es preveu que les condicions creixents de sequera provoquin un major tancament estomàtic en les plantes (amb l'objectiu de reduir les pèrdues d'aigua). Aquest fet limitaria i condicionaria la captura de carboni de les plantes ja que aquestes utilitzen els estomes com a via d'entrada del CO₂ (Lopez *et al.* 1997). Finalment, s'ha comprovat que la respiració de la plantes (procés a través del qual s'allibera CO₂ a l'atmosfera derivat dels processos d'oxidació de la matèria orgànica) augmenta amb l'increment de la temperatura ambient. Això pot derivar, si l'augment de l'activitat fotosintètica i la captura de C atmosfèric en les noves condicions ambientals no es proporcional, en produccions primàries netes negatives i, per tant, en la disminució de l'estructura de l'ecosistema (Sebastià *et al.* 2005).

3.3.3. Plasticitat i adaptació

La capacitat que tinguin les plantes d'adaptar-se ràpidament al canvi climàtic, que va unida en general a la seva plasticitat fenotípica i variabilitat genètica, determinarà l'efecte d'aquest en el seu desenvolupament i distribució. En general, es consideren menys susceptibles a l'efecte climàtic aquelles espècies que exhibeixen una àrea de distribució més extensa o bé que presenten un major nivell evolutiu com les alzines (*Quercus ilex* L.) o els roures (*Quercus sp.*) (Gracia *et al.* 2004). No obstant, Peñuelas *et al.* (2004) remarquen el fet que les espècies vegetals siguin més aviat conservadores des d'un punt de vista evolutiu i, per tant, reaccionin preferentment als canvis ambientals modificant la seva zona de distribució.

3.3.4. Canvis en les àrees de distribució de les espècies

Diferents estudis paleoecològics han mostrat canvis en la reestructuració i distribució de les comunitats vegetals en resposta a canvis climàtics passats, amb el que s'espera observar, en el context actual, un patró similar i el desplaçament de la distribució de les espècies forestals cap a zones on les condicions ambientals actuals permeten el seu desenvolupament allí on abans no era possible. No obstant encara s'han observat poques evidències d'aquest fenomen i actualment la majoria de canvis observats en aquesta direcció responen més aviat als canvis d'us del territori i en particular al creixent abandó de les activitats agrícoles i la ramaderes de muntanya. En alguns casos, però, si que sembla ocórrer una progressiva substitució de la vegetació característica de sistemes temperats per espècies o comunitats més mediterrànies (Castro 2000; Peñuelas i Boada 2003).

3.3.5. Pèrdua de biodiversitat i extinció d'espècies

Es preveu que els canvis de les relacions de competència interespecífica, derivats de la diferent resposta de les espècies front al canvi climàtic, i les dificultats que algunes espècies puguin presentar per colonitzar àmbits més favorables per al seu desenvolupament, puguin comprometre la supervivència d'aquelles espècies o comunitats endèmiques més sensibles. Malgrat que es necessita més estudis per determinar l'abast d'aquesta qüestió, alguns models com els desenvolupats per Thuiller (2005b) apunten a les zones de muntanya mediterrànies com un dels àmbits més susceptibles a patir pèrdues de biodiversitat com conseqüència del canvi climàtic.

4. ELS BOSCOS DE CATALUNYA DAVANT EL CANVI CLIMÀTIC.

4.1. Principals característiques del boscos de Catalunya.

4.1.1. Com són avui els boscos a Catalunya?

Catalunya és un país de boscos. Les dades del *Tercer Inventario Forestal Nacional* (Ministerio de Medio Ambiente, 2006) mostren que la superfície forestal a Catalunya se situa al voltant de 1.930.482 ha (60% del territori), de les quals 1.626.212 ha són arbrades (és a dir, amb més d'un 5% de fracció de cabuda coberta (fcc)) que representen més d'un 50% del territori. Si es comparen aquestes xifres amb les d'altres països d'Europa (**taula 1**) s'observa que la superfície actual de bosc a Catalunya és superior a la d'altres països europeus amb millors condicions climàtiques per al desenvolupament del bosc.

Els boscos a Catalunya són densos: només un 5% de la superfície arbrada (84.968 ha) té menys d'un 20% de fcc. A més, la densitat mitjana de peus de més de 7,5 cm de diàmetre normal és de 637 peus/ha, xifra a la que cal afegir 1008 peus/ha d'entre 2,5 i 7,5 cm de diàmetre normal (Ministerio de Medio Ambiente, 2006).

Al voltant del 85% de la superfície forestal catalana és de propietat privada (ICONA, 1994). En molts casos, la propietat privada ha estat la garantia de la conservació dels

boscós: la consideració del bosc com un patrimoni familiar i la voluntat dels propietaris per al seu manteniment, han permès que arribin als nostres dies molts dels boscos actuals (González *et al.*, 2006). Tanmateix la petita superfície mitjana de la propietat forestal comporta una gran varietat de maneres de fer i una barreja d'estructures forestals a petita escala (González *et al.*, 2006).

Taula 1. Superfície forestal arbrada en alguns països europeus (fcc>10%), amb dades corresponents a l'any 2000 (FAO, 2005). Les dades de Catalunya corresponen a la finalització del IFN3 (any 2001) i la superfície forestal arbrada amb fcc>20%.

País	Superfície forestal arbrada (en milions de ha)	% sobre el total de superfície del país
<i>Regne Unit</i>	2,8	11,6
<i>França</i>	15,4	28,0
<i>Alemanya</i>	11,1	31,8
<i>Itàlia</i>	9,4	32,0
<i>Portugal</i>	3,6	39,3
<i>Catalunya</i>	1,6	50,1
<i>Suècia</i>	27,5	66,8
<i>Finlàndia</i>	22,5	73,8

4.1.2. Com ha estat l'evolució recent dels boscos a Catalunya ?

L'evolució dels boscos durant els darrers segles, i especialment durant els darrers decennis, ens pot informar sobre les inèrcies que actuen sobre la situació suara descrita.

Després de segles d'intensa deforestació, especialment agreujada durant el S. XIX, la superfície arbrada assoleix mínims històrics durant el primer terç del S. XX (DGCN 1998). A partir d'aquest moment, l'evolució socioeconòmica lligada al desenvolupament industrial (emigració del camp a la ciutat, utilització generalitzada dels combustibles fòssils, descens de les activitats silvopastorals, abandonament de les terres menys productives, etc.) és a l'origen de l'increment de la superfície forestal que s'inicia a partir de mitjans del S. XX.

L'evolució dels boscos de Catalunya durant els darrers 3 decennis pot seguir-se amb detall a partir dels tres Inventaris Forestals Nacionals realitzats. Entre els anys 1971 i 2001, la superfície forestal arbrada augmenta en 462.000 ha, un increment mitjà anual de 15.400 ha. (dades de ICONA, 1975 i Ministerio de Medio Ambiente, 2006). El darrer decenni la tendència s'accelera: l'augment mitjà entre 1990 i 2000 és de 23.200 ha anuals (Ministerio de Medio Ambiente, 2006).

La comparació entre el IFN2 i IFN3 -període de 1990 a 2000- (Gil *et al.*, 2008) mostra increments notables en totes les variables relacionades amb la densitat i les existències de les masses, destacant un increment del 27% per a l'àrea basimètrica, del 15% per al nombre de peus de més de 7,5 cm de diàmetre normal i del 8% per a l'alçada dominant. L'abundància d'arbustos també s'incrementa un 18%. Les variables relacionades amb la diversitat de les masses forestals van experimentar variacions positives, amb increments de la riquesa i de la diversitat d'espècies arbòries i arbustives superiors al 10%.

En resum, s'ha produït una reducció de la superfície destinada a terres de cultiu i boscos en les àrees més properes a les zones metropolitanes, que ha anat acompanyat d'un important èxode rural en les zones de muntanya i que ha comportat el progressiu embosquiment de les terres de cultiu i consegüentment, pèrdua de biodiversitat, reducció de la qualitat del paisatge i augment del risc d'incendis (Llebot *et al.*, 2005).

4.1.3. Principals característiques silvícoles dels boscos catalans

Pel que fa a les principals característiques silvícoles dels boscos, podem dir que una bona part dels boscos de Catalunya es caracteritzen per (Piqué, 2004):

- Presentar una alta variabilitat estructural i funcional, en part, marcada pel contrast d'estacions forestals.
- Trobar-se en estadis joves d'arbrat.
- Presentar una elevada presència de peus de petites dimensions, no solament pel fet de ser masses relativament joves, sinó com a resultat de boscos exageradament densos.
- Ser masses inestables i estancades en el seu creixement, el que repercuteix en la baixa productivitat d'aquestes.

4.2. Efectes previsibles del canvi climàtic sobre els boscos de Catalunya.

En aquest context, juntament amb la incertesa de cap on evoluciona el canvi climàtic, es fa més necessari que mai conèixer la resposta al canvi climàtic i canvi global dels nostres boscos. La resposta a aquest canvi en termes de supervivència juvenil, adaptació i producció de les espècies forestals és variada, tanmateix l'efecte del canvi climàtic sobre l'estructura i dinàmica del bosc és ben segur que seran importants, però incerts (Terradas, 2007). A més, en el mediterrani la viabilitat i producció dels boscos i està molt condicionada a la disponibilitat de l'aigua, la qual cosa afegeix complexitat a l'estudi de la seva dinàmica i desenvolupament d'eines per a la gestió sostenible.

Els principals canvis de les característiques climàtiques previstos per a Catalunya se centren en un descens de la pluviometria, una modificació del patró de pluges (menys pluja a l'estiu) i un increment de les temperatures. La projecció d'aquests canvis climàtics previstos sobre la situació actual i inèrcies dels boscos de Catalunya descrites a l'apartat 4.1 ens permet albirar els **principals efectes a curt termini**:

- Un bosc més dens requereix transpirar més aigua per mantenir-se vital. Una reducció de l'aigua disponible i l'augment de la competència lligat a densitats elevades provoca un estrès continuat que debilita el bosc i el fa més susceptible a plagues i malalties, poc resistent a èpoques de sequera i en redueix dràsticament la producció.
- Un bosc més dens, amb individus debilitats, i amb més estrat arbustiu, dóna lloc a una major acumulació de biomassa en forma de combustibles fins (els més perillosos de cara a un foc forestal), que a més es distribueixen amb continuïtat vertical.

A continuació es revisen algunes situacions produïdes als boscos catalans durant els darrers anys que han estat relacionats per diversos autors amb el canvi climàtic, i que poden ser il·lustratives dels efectes previsibles.

4.2.1. Dinàmiques de canvis de composició específica i estructura dels boscos.

S'han observat canvis altitudinals deguts principalment a variacions climàtiques. Peñuelas i Boada (2003) observen en les cotes més elevades del Montseny una progressiva substitució de la vegetació característica de sistemes temperats per espècies o comunitats més mediterrànies.

Els canvis d'estructura i composició específica derivats de la combinació de diferents pertorbacions (especialment la sequera) afavoreixen l'avanç cap a comunitats més esclarissades o amb major domini arbustiu. Els efectes d'episodis excepcionals de sequera de les darreres dues dècades han estat especialment visibles en alzinars que s'han desenvolupat en àrees de climes més humits (alzinars i carrascars montans del nord i nord-est de Catalunya). Aquests alzinars creixen en sòls molt primers i per tant amb una mínima capacitat de retenció d'aigua. En aquests llocs els períodes de sequera hi han causat estralls, especialment els anys 1994, 1998 i 2003 (Gràcia i Vigué, 2008). Els mateixos autors observen com les rouredes situades en posicions fisiogràfiques desfavorables (carenes, zones de poc sòl), estan patint els darrers anys situacions estivals de marcat estrès hídric amb assecades repetides durant el mes d'agost.

4.2.2. Increment de la incidència de plagues i malalties forestals.

En sistemes forestals de tendència eurosiberiana, el decaïment de l'avet (caracteritzat per clorosi, defoliació i finalment la mort de l'avet) sembla estar desencadenat per una situació d'estrès climàtic suficientment llarg, interrelacionat amb l'activitat dels patògens (Camarero *et al.*, 2002; Oliva i Colinas, 2005). A Catalunya, aquest efecte s'ha trobat concentrat, principalment, a la zona del Pallars (Oliva i Colinas, 2005). Així mateix, s'observen alguns símptomes greus de decaïment en boscos de pi negre (*Pinus uncinata* Mill.) de la vessant Sud dels Pirineus (Casamayor i Colinas, 2005).

En sistemes forestals mediterranis, a principis dels anys 90 l'episodi general de debilitat i decaïment de les masses de suro del nord-est de la Península Ibèrica va ser associat a la tendència d'increment de temperatures i escassetat de pluges dels 30 anys anteriors (Olivera i Colinas, 1995).

L'explosió de plagues en coníferes submediterrànies i montanes ha estat manifesta durant els darrers anys especialment secs i càlids. En el cas de la processionària (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) durant el 2006 les poblacions d'aquesta plaga van estar més elevades del normal com a conseqüència, possiblement, que el naixement de les papallones va ser més important l'estiu del 2005 a causa de la sequera i que es va produir el naixement de nombroses papallones de crisàlides provinents d'enterraments d'anys anteriors (DMAH, 2006). Els escolítids i curculiònids perforadors de coníferes s'han vist afavorits pel debilitament dels boscos de pi roig i han provocat la mort de

gran quantitat d'arbres l'any 2005 tal i com va passar a inicis de la dècada dels 90 (Gràcia i Vigué, 2008)

4.2.3. *Incendis forestals.*

L'augment observat de la magnitud dels incendis forestals a Catalunya durant els darrers anys no es pot considerar una conseqüència directa del canvi climàtic, sinó que es deu a múltiples factors tant climàtics (1), com socioeconòmics (2) o lligats a l'activitat humana (3).

- (1) A Catalunya, les ones de sud a l'estiu són les responsables de les situacions d'incendis grans com els de 1986, 1994 o 1998 (Castellnou, 2005). Aquestes situacions sinòptiques es caracteritzen per altes temperatures i humitats relatives molt baixes durant un període de temps perllongat (dies o setmanes).
- (2) L'abandonament de les activitats agroforestals i l'extensió natural del bosc en antics camps de conreu i pastures abandonades es considera una causa de fons dels recurrents episodis de grans incendis forestals (Plana, 2004).
- (3) Ignicions per cremes agrícoles, activitat de lleure, conductes criminals, etc.

Si es tenen en compte les previsions dels models de canvi climàtic per a l'àmbit mediterrani occidental, s'espera un increment del risc d'incendi derivat dels factors climàtics:

- Increment de la freqüència, durada i intensitat dels episodis d'ona de sud.
- Major evapotranspiració de la coberta vegetal i per tant un menor contingut d'humitat en les plantes. L'augment de la temperatura global s'ha relacionat amb l'augment de les temperatures nocturnes (Kukla i Karl, 1993), que són importants per a que la vegetació pugui recuperar o mantenir un cert nivell d'humitat.

4.2.4. *Restricció de la productivitat forestal.*

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). Com s'ha esmentat en la secció relativa als efectes del canvi climàtic en la fisiologia de les espècies (apartat 3.3.2), en ambients mediterranis, l'efecte afavoridor del creixement que suposa l'increment de concentració de CO₂ atmosfèric queda anul·lat per la reducció de la disponibilitat hídrica.

5. MESURES SILVÍCOLES I DE PLANIFICACIÓ FORESTAL PER FER FRONT ALS EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC

5.1. Impactes del canvi climàtic i la seva relació amb la gestió forestal

Al capítol 3 ja s'ha vist àmpliament quins són els principals efectes del canvi climàtic sobre els ecosistemes forestals. A continuació s'enumeren els que tenen major implicació en la gestió forestal o que d'una manera o altra caldrà tenir en compte i integrar en els actuals models de gestió forestal (Alcama *et al.*, 2007; Regato, 2008):

- Canvis en l'àrea de distribució de les espècies i fronteres dels ecosistemes.
- Canvis en el metabolisme, fisiologia i fenologia de les plantes.
- Pèrdua de biodiversitat i reducció i/o extinció d'espècies.
- Pèrdua de vitalitat, creixement i mort d'arbres durant períodes secs.
- Major vulnerabilitat a les perturbacions: foc, malalties i plagues.
- Canvis en règim de focs (incendis majors, periodicitat més alta, canvis en l'estacionalitat).
- Ampliació de les zones de risc d'incendi.
- Augment de plagues i malalties.
- Augment del caràcter invasor de les espècies al·lòctones.

Tot i els efectes previsibles del canvi climàtic, el bosc o coberta forestal, d'una manera o altra, segurament perdurarà amb el temps. El que esdevé més complicat és garantir la diversitat i multifuncionalitat dels espais forestals i, per aconseguir aquest fi caldrà, més que mai, d'una gestió activa i eficient del territori, amb la planificació d'una gestió forestal sostenible, utilitzant les eines silvícoles més adients i l'esforç tècnic i de recerca dins l'ecologia i ciència forestal.

5.2. Repte de la gestió forestal sostenible en el context de canvi global

La gestió forestal sostenible té com a premissa la persistència d'un recurs o sostenibilitat d'una gestió, és a dir, assegurar la permanència d'un recurs en quantitat i qualitat al llarg de temps. A més a més, cal que mantingui l'estabilitat ecològica de l'ecosistema, així com els índexs de població de cada una de les espècies de flora i fauna que el componen i assegurar un grau mitjà d'oci/esbarjo i paisatge per a la societat, tot ampliant aquests criteris de sostenibilitat a tots els recursos que poden ser generats pel bosc.

5.2.1. Com abordar aquesta gestió? Com gestionar aquesta complexitat i incertesa?

La preocupació per aconseguir una gestió sostenible és un tret fonamental que caracteritza actualment el sector forestal arreu del món. A Catalunya, la gestió forestal ha esdevingut progressivament més complexa, en un escenari de reduïda rendibilitat, amenaça dels grans incendis forestals, canvi global i variades demandes socials que es tradueixen en un ampli marc legal i en una visió necessàriament multifuncional de la gestió. Per abordar la gestió dels boscos catalans en el context actual cal incorporar diferents aproximacions a la gestió forestal (Piqué i Vericat, 2007):

- **Gestió multifuncional.** Fixar i prioritzar objectius o funcions i compatibilitzar amb la resta.

- **Gestió per a la persistència** “manage for resilience”, “gestió pròxima a la natura”. El principal objectiu és fer ecosistemes forestals més resistents i resilents. La millor manera d’aconseguir això es manténir la complexitat dels ecosistemes, entesa com a diversitat i variabilitat inter i intrarodal. Gestió més econòmica.
- **Gestió adaptativa** “adaptive forest management”, “gestió ecosistèmica”, per la gestió d’ecosistemes complexos i diversos. Els models de gestió varien en cada cas i poden canviar en el temps.

En tots els casos és necessari un bon coneixement del subjecte de gestió i la identificació i caracterització de les principals tipologies forestals i la seva relació amb el canvi global esdevé clau.

5.2.2. Tipologies forestals com a eina de planificació forestal

Les tipologies forestals que integrin atributs de les espècies i estructura del bosc, d’estació, valors de biodiversitat, ús social i paisatge, i diversos altres condicionants (com la vulnerabilitat al canvi climàtic, incendis, etc.) esdevenen una bona eina per a la gestió. Per exemple, al Canadà, el desenvolupament del concepte de maneig ecosistèmic deriva en una “zonificació funcional” per a la planificació i gestió forestal. Aquesta es basa en la divisió de l’espai forestal en zones segons l’objectiu: conservació, gestió extensiva i gestió intensiva per a producció fustanera, de manera que la gestió esdevingui el màxim eficient (Messier i Kneeshaw, 1999). Aquesta estratègia anomenada “*Triade*” implica una gran diversificació de tractaments i models silvícoles a nivell regional i de forest i requereix de classificacions dels espais forestals en funció dels tipus forestals.

Aunòs (2007), també apunta que en el context actual de canvi global, els models de gestió forestal s’han de fonamentar en un diagnòstic molt acurat i precís de l’estat silvícola, la seva presumible evolució i de les característiques ecològiques de l’estació. D’aquí la transcendència de desenvolupar i disposar de tipologies i catàlegs d’estacions ecològiques.

A Catalunya, les formacions forestals són diverses, el rang de qualitats d’estació força ampli i molt condicionat a la fisiografia i condicions microclimàtiques, a més els boscos són marcadament multifuncionals. En aquest marc, la gestió forestal esdevé complexa i les tipologies constitueixen una important eina d’ajuda a la planificació forestal.

5.3. Gestió adaptativa

En el capítol 2 es presenta que la relació entre els boscos i el canvi climàtic s’articula a través de tres eixos: la mitigació, vulnerabilitat i l’adaptació. Davant els canvis previsibles serà imprescindible aplicar una gestió adaptativa (Gracia *et al.* 2004) i integrar en les orientacions de gestió forestal els possibles efectes i relacions amb el canvi climàtic. Els boscos a Europa s’han gestionat intensivament durant segles, per això tenim una ampli ventall d’opcions de gestió i tota una ciència, la silvicultura, que poden ser utilitzades per adaptar els boscos al canvi climàtic (Alamo *et al.* 2007).

En aquest sentit, i sota la consigna de la gestió adaptativa, es proposen una sèrie de mesures de gestió, algunes d’elles ja contemplades en altres treballs com els de Gracia *et al.* (2004), Alamo *et al.* (2007), Resco *et al.* (2007) i Regato (2008).

5.3.1. Realització de tractaments silvícoles i tallades

- a) Realitzar tractaments silvícoles de millora, aclarides i selecció de tanys, per tal de reduir la competència pels recursos i els costos respiratoris dels boscos, ajudant a que aquests sobrevisquin als períodes adversos.
- b) Promoure les espècies més adaptades i amb major creixement i vitalitat.
- c) Adequar els torns i intensitats de tallada de les diferents espècies a les condicions de l'estació.
- d) Allargar els torns de tallades perquè els boscos avancin en el seu grau de maduresa, alhora que s'incrementa la captura del carbó.
- e) Ajudar a la regeneració natural del bosc, aprofundint en el coneixement de la seva dinàmica i la utilització de les millors tècniques silvícoles.
- f) Tenir especial cura dels estadis de regeneració, per ser el més sensibles a l'estrès ambiental, en front als arbres adults que tenen major capacitat de suportar situacions extremes.

5.3.2. Promoció de masses mixtes i diversitat d'espècies

- g) Promoure les masses mixtes i la diversitat d'espècies, sobretot de frondoses, per tal de tenir més opcions de futur, tant des del punt de vista ecològic com econòmic, i augmentar la resistència a les possibles perturbacions.
- h) Canviar la composició de les espècies dels rodals forestals o en aquells llocs on es planti, plantar espècies amb llavors millorades genèticament adaptades al nou clima.
- i) Realitzar una acurada selecció de les procedències de les llavors i plantes en les repoblacions per una gestió adequada de la diversitat genètica.
- j) En el cas de plantacions de coníferes, plantar frondoses millor adaptades als nous escenaris climàtics i promoure plantacions multiespecífiques en front plantacions monoespecífiques de coníferes.

5.3.3. Integració del risc d'incendi en la gestió forestal

- k) Integrar el risc d'incendi en la gestió forestal, conduint el bosc cap a estructures forestals menys vulnerables al foc, per tal d'evitar grans incendis forestals i incendis recurrents, que poden conduir a la impossibilitat d'establir el banc de llavors i recuperació de la vegetació.

5.3.4. Planificació forestal i eines de gestió en general

- l) Mantenir els boscos i les seves funcions ambientals amb mesures silvícoles adients i combinar tècniques d'aprofitament tradicional i energètic.
- m) Definir estratègies específiques de gestió per als boscos de muntanya, que tenen menys opcions d'adaptació i boscos de ribera, sensibles a la colonització per espècies al·lòctones.
- n) Promoure la gestió ecosistèmica, gestió pròxima a la natura i la silvicultura orientada a l'arbre individual, com a tècniques eficients de gestió sostenible, que poden realitzar-se amb menor inversió de recursos econòmics.

5.4 Algunes reflexions per afrontar els efectes del canvi climàtic en els boscos

5.4.1. *Aprendre de les experiències del passat per afrontar els canvis en el futur (Regato, 2008).*

- Estudiar la relació entre la capacitat de dispersió de les espècies i les implicacions en la gestió, de manera que podem plantejar-nos desplaçar espècies amb baixa capacitat de dispersió, fins a la necessitat d'identificar, restaurar i gestionar cuidadosament poblacions aïllades i perifèriques existents fora de l'àrea central de distribució d'una espècie (Pearson i Dawson, 2005).

5.4.2. *Gestió forestal sostenible: un actiu contra el canvi climàtic*

- Apostar per la gestió sostenible dels boscos catalans, establint models de gestió i directrius tècniques en funció dels objectius prioritaris, potenciant així la productivitat dels boscos i el seu desenvolupament i estabilitat.
- Aconseguir una planificació del territori que permeti avançar en el grau d'estabilitat dels boscos i que desenvolupi alternatives d'aprofitament i conservació d'aquests, que no són comercialment explotables com la producció de fusta, potenciant la seva valoració pels beneficis indirectes i promovent els corresponents instruments de retribució de les externalitats positives i ajuts a la gestió forestal sostenible.
- Promoció del mercat de productes forestals.
- Valoració de les externalitats i productes que no tenen un valor directe de mercat (biodiversitat, protecció, regulació hídrica, ús públic, oci).

5.4.3. *Recerca i transferència de tecnologia*

- Apostar per la investigació i treball conjunt dels experts: estudis sobre les interaccions boscos-clima, estudi dels factors ecofisiològics que determinen la regeneració i la resposta del bosc als canvis ambientals i patrons de gestió, estudis sobre l'adaptació, creixement i producció dels boscos i desenvolupament d'eines per a la seva gestió.
- Fomentar la formació i informació dels professionals forestals, propietaris forestals i administracions públiques.
- Professionalització i cooperació interprofessional.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Alcamo, J., J. M. Moreno, *et al.*, 2007. Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. O. F. C. M.L. Parry, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge, UK, Cambridge University Press: 541-580.

Aunòs, 2007. La silvicultura i la planificació forestal en Catalunya en les albors del S. XXI. Ponència marc del bloc temàtic de planificació forestal i silvicultura. A: Llibre de ponències i resums 2on Congrés Forestal Català. 24-34.

- Camarero J.J., Padró Simarro A., Martín Bernal E., Gil Pelegrín E. 2002. Aproximación dendroecológica al decaimiento del abeto (*Abies alba* Mill.) en el Pirineo aragonés. *Montes* 70: 26-33.
- Casamayor, M. C., Colinas, C., 2005. Decaimiento de las masas de *Pinus uncinata* Miller ex. Mirbel en el Pirineo Catalán. Proyecto Final de Carrera. ETSEA-Universitat de Lleida.
- Castellnou, M., 2005. Aprentent del passat per a gestionar el territori en el futur. Anàlisi dels majors incendis forestals a Catalunya (Sant Llorenç Savall, Berguedà, Solsonès) com a base per a planificar la prevenció d'incendis forestals i gestió del risc d'incendi: el cas de Sant Llorenç Savall. A: Piqué M.(Ed.). 2005. XXII Jornades Tècniques Silvícoles. Consorci Forestal de Catalunya. pp: 53-62.
- Castro J. 2000. Dinámica de la regeneración de los pinares autóctonos de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L. var. *Nevadensis* Christ) de Sierra Nevada y Sierra de Baza. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, Granada.
- Council of the European Union, 1998. "Council Resolution of 15 december 1998 on a Forest Strategy for the European Union http://eur-lex.europa.eu/pri/en/oj/dat/1999/c_056/c_05619990226en00010004.pdf (accessed 15 October 2008)." *Official Journal of the European Communities* 56/01(1999/C): 1-4.
- DGCN (Ed.), 1998. "Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1996". Volumen de España. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 337 pp.
- DMAH, 2006. http://mediambient.gencat.net/cat/el_departament/sala_de_prensa/notes/NPPProcessoria.jsp Data de consulta: 17 octubre de 2008.
- Dukes J.S., Mooney H.A. 1999. Does global change increase the success of biological invaders?. *Trends in Ecology and Evolution* 14 (4): 135-139.
- ECOM, 2005. Communication of 10 March 2005 from the Commission to the Council and the European Parliament - Reporting on the implementation of the EU forestry strategy [COM(2005) 84 final - Not published in the Official Journal]. <http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l60040.htm> (accessed 17 october 2008).
- FAO, 2005. "Global Forest Resources Assessment 2005". FAO Forestry Paper 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 320 pp.
- Gil, A., Saura, S., Alberdi, I., Villanueva, A., 2008. Canvis en l'estructura i diversitat dels boscos catalans entre 1989 i 2001, avaluats a partir de l'Inventari Forestal Nacional. *Rural and Forest* 10-17.
- González, J. M., Piqué, M., Vericat, P., 2006. Manual de ordenación por rodales: gestión multifuncional de los espacios forestales. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. 208 pp.
- Gracia C, Tello E., Sabaté S., Bellot J. 1999. GOTILWA: An integrated model of water dynamics and forest growth, en: Rodà F., Retana J., Gracia C. i Bellot J. (eds), *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*. Springer, Berlin, pp. 163-180.
- Gracia C. 2002. El cambio climático y la reducción de la reserva de agua en el bosque mediterráneo. *Ecosistemas* 11/2.

- Gracia, C.; Gil, LL.; Montero, G., 2004. Impactos sobre el Sector Forestal. A: Evaluación preliminar de los impactos en España por Efecto del Cambio Climático, pp. 399 – 435. Ministerio de Medio Ambiente and Univ. de Castilla-La Mancha
- Gracia, C., Vigué, J., 2008. El canvi climàtic: un repte pels nostres boscos. A: TUSELL, J. M. i VERICAT, P (Coords.) 2008. XXV Jornades Tècniques Silvícules. Consorci Forestal de Catalunya. Santa Coloma de Farners. pp:35-46.
- Hitz, S. and J. Smith, 2004. Estimating global impact from climate change. *Journal of Global Environmental Change* 14(3): 201-218.
- Hódar J.A., Zamora R., Peñuelas J. 2004. El efecto del cambio global en las interacciones planta-animal, en: Valladares F. (ed), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A., Madrid, pp. 461-478.
- ICONA, 1975. Primer inventario forestal de España. Avance de resultados. Ministerio de Agricultura. Madrid. 71 pp.
- ICONA, 1994. II Inventario Forestal Nacional 1986-1994. Cataluña. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- IPCC. 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Joyce, L., J. Aber, *et al.*, 2001. Potencial consequences of climate variability and change for the forests of the United States. *Climate Change Impacts on the United States. The Potential Consequences of Climate Variability and Change*. Foundations. N. A. S. Team. Washington DC, US Climate Change Science Program / US Global Change Research Program., <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/>.
- Kukla, G., Karl, T.R., 1993. Night-time warming and the greenhouse effect. *Environ. Sci. Technol.* 27: 1468–1474.
- Llebot, J. E., Jorge, J., Queralt, A., Rodó, J., 2005. Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya : resum executiu. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (Catalunya). Departament de la Presidència. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS). Generalitat de Catalunya.
- López B. Sabaté S. Ruíz I., Gracia C. 1997. Effects of elevated CO₂ and decreased water availability on holm oak seedlings in controlled environment chambers, en: Mohren G.M.J., Kramer K., Sabaté S. (eds), *Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 125-133.
- Messier, C., Kneeshaw, D., 1999. Thinking and acting differently for sustainable management of the boreal forest. *Forestry Chronicle* 75 (6): 929-938.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 2006. Tercer Inventario Forestal Nacional. Volumes corresponents a les províncies de Lleida, Barcelona, Girona i Tarragona. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- Oliva J., Colinas, C., La sintomatología del decaimiento del abeto (*Abies alba* Mill.) en el Pirineo español. Proyecto Final de Carrera. ETSEA-Universitat de Lleida.
- Olivera A, Colinas C., 1995. Observaciones sobre la posible correspondencia entre la evolución climática y el decaimiento de los alcornos en Cataluña. Proyecto Final de Carrera. ETSEA-Universitat de Lleida.

- Pausas J.G. 2004. La recurrencia de incendios en el monte mediterráneo, en: Vallejo, R. (ed.). Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo. pp. 47-64. CEAM, Valencia.
- Pearson, R.G., Dawson, TP. 2005. Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. *Biological Conservation*, 123.
- Peñuelas J., Boada M. 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* 9: 131-140.
- Peñuelas J., Filella I. 2001. Phenology: Responses to a warming world. *Science* 294: 793-795.
- Peñuelas J., Filella I., Comas P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952-2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8: 531-544.
- Peñuelas J., Sabaté S., Filella I., Gracia C. 2004. Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación, en: Valladares F. (ed), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, Ministerio de Medio Piñol J.J., Terradas J., Lloret F. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change* 38: 345-357.
- Piqué, M. 2004. La gestió forestal com a eina per a la prevenció dels grans incendis forestals. A: Plana, E. (Ed). *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Xarxa ALINFO XCT2001-00061. Solsona. 144 p.
- Piqué, M., Vericat, P. 2007. Elaboració d'orientacions de gestió (ORGEST) per als boscos catalans: les tipologies forestals com a eina. A: *Llibre de ponències i resums 2on Congrés Forestal Català*.52.
- Plana, E., 2004. *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc*. Xarxa ALINFO XCT2001-00061. Solsona. 144 p.
- Regato P. 2008. *Adapting to global change. Mediterranean forests*. IUCN, Gland, Switzerland and Malaga, Spain.
- Regato, P., 2008. *Adapting to global change: Mediterranean Forests*. Malaga, Spain, UICN Centre for Mediterranean Cooperation.
- Sánchez, E., C. Gallardo, *et al.*, 2004. Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach. *Global and Planetary Change*(44): 163-180.
- Scientific Expert Group -SEG-, 2007. *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*.http://www.globalproblems-globalsolutions-files.org/unf_website/PDF/climate%20_change_avoid_unmanagable_manage_unavoidable.pdf (accessed 15 october 2008). Report prepared for the United Nation Commission for the Sustainable Development. Washington DC, Sigma Xi, Research Triangle Park, NC, UN Foundations.: 144.
- Sebastia M.T., Casals P., Domínguez G., Martín L., Costa J. 2005. Agricultura i Silvicultura, en: Llebot I., Enric J. (eds), *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, pp. 349-390.

Tardif, J., Camarero, J. J., Ribas, M., Gutiérrez, E., 2003. Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: climatic and site influences. *Ecological Monographs*, vol. 73, núm. 2 (2003), p. 241-257.

Terradas J. (ed). 1996. *Ecología del foc*. Proa, Barcelona.

Terradas J. 2001. *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Ediciones Omega, Barcelona.

Terradas, J., 2007. Els boscos davant del canvi climàtic. Llibre d'actes del Congrés Forestal Català. Tarragona, CTFC. <http://www.congresforestalcatala.cat> (accés el dia 17 d'octubre de 2008).

Thuiller W., Lavorel S., Araújo M.B. 2005b. Niche properties and geographic extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Global Ecology and Biogeography* 14: 347-357.

Thuiller W., Richardson D.M., Pyšek P., Midgley G.F., Hughes G.O., Rouget M. 2005a. Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Global Change Biology* 11: 2234–2250.

UNFCCC, 1994. UNFCCC. Essential background. http://unfccc.int/essential_background/convention/items/2627.php (accessed 15 october 2008).

Vallejo V.R. i Alloza J.A. (eds), *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo*, Fundación CEAM, Valencia, pp. 47-64.

Winnett, S. M., 1998. Potential effects of climate change on U.S. forests: a review. *Climate Research*(11): 39–49.