

L'inventari forestal nacional: una eina per a la gestió, la planificació i la recerca

Jordi Vayreda Duran

Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)
i Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès

THE NATIONAL FOREST INVENTORY: A TOOL FOR MANAGEMENT, PLANNING AND RESEARCH. – Large-scale forest inventories have become an essential tool not only for forest management and planning but also for research. This paper summarizes some of the main results obtained from the data of more than 11,000 sampling plots of national forest inventories that have been carried out in Catalonia during the years 1989-1990 (IFN2) and 2000-2001 (IFN3). From 1993 to 2010 forest area has increased by almost 54 thousand has. According to the IFN3, Catalan forests have an average C stock of 51.8 t C / ha and an absolute C stock of 59 million t. Forests have accumulated C during this period at an average rate of 1.27 million t C per year. This means that they uptake 8.5% of Catalan anthropogenic CO₂ emissions. Beyond the information derived from inventories, in this paper we also show several examples of their use in management, planning and research. Finally we give an overview of what could be the future of forest inventories using LiDAR remote sensing techniques.

Introducció

Els boscos juguen un paper clau en el cicle global del carboni (C) perquè són els responsables de capturar el 30% de les emissions de CO₂ d'origen antropogènic (Canadell *et al.*, 2007; Pan *et al.*, 2011). També són globalment valuosos pels molts altres serveis indispensables per al benestar de la societat incloent valors i serveis ecològics, econòmics, socials, estètics i recreatius (Bonan, 2008; Pan *et al.*, 2011). Els boscos tenen un efecte significatiu sobre el clima a través de processos físics, químics i biològics afectant el cicle d'energia, el cicle hidrològic i la composició atmosfèrica a escala planetària. Per la seva banda, el clima a gran escala és el principal factor determinant de la distribució i dinàmica de la vegetació (Woodward, 1987; Ellenberg, 1988). Aquestes interaccions bosc-atmosfera són complexes i no lineals i poden amplificar o esmorteir el canvi climàtic (Bonan, 2008).

Molt abans que el cicle del C formés part de l'agenda de recerca, en el seu inici els inventaris forestals nacionals es van concebre estrictament per estimar el valor comercial de la fusta (Ciais *et al.*, 2008). Els inventaris forestals a escala nacional, en contra de la majoria d'estudis d'escala més local, proporcionen una informació sistemàtica, estadísticament no esbiaixada, regularment actualitzada que dona un visió general del conjunt de boscos representant la variació temporal i espacial al llarg de gradients ambientals (Charru *et al.*, 2010). Avui en dia, juntament amb els sensors remots i els sensors làser aereotransportats

(LiDAR, airborne laser scanning sensors) (Magnussen *et al.*, 2010; Mc Roberts *et al.*, 2010), s'han acabat convertint en una font d'informació imprescindible per quantificar i entendre la distribució geogràfica i temporal dels estocs i els embornals de C a escala global (Goodale, 2002; Körner *et al.*, 2003; Liski *et al.*, 2003; Ciais *et al.*, 2008; Pan *et al.*, 2011) i a escala regional (Caspersen *et al.*, 2000; Charru *et al.*, 2010). Això és per causa, d'una banda, als llargs temps de residència del C en els boscos però també a l'enorme potencial de processos destructius que, encara que de baixa freqüència, poden produir en poc temps canvis molt significatius en els estocs i en el balanç de C (Pretzsch, 1996; Goodale *et al.*, 2002).

Els inventaris forestals nacionals (IFNs) a Catalunya constitueixen una base de dades georeferenciada d'aproximadament 11 mil parcel·les de mostreig monitoritzades periòdicament (aproximadament cada 10 anys) i sistemàticament distribuïdes per tota la superfície forestal arbrada (Villaescusa i Díaz, 1998; Villanueva, 2005). Aquests IFNs es basen en una xarxa regular de parcel·les circulars a una densitat d'aproximadament una parcel·la per cada cent hectàrees. La informació recollida ha permès una caracterització exhaustiva de la composició específica i de l'estructura de l'estrat arbori i del sotabosc (incloent l'estrat arbustiu i la regeneració de les espècies arbòries). El coneixement de l'estat del bosc en les dues dimensions espacial i temporal són essencials per planificar i gestionar de manera racional a curt i a llarg termini el bosc amb criteris de sostenibilitat davant de les amenaces:



foc, fenòmens meteorològics extrems (ventades, escalfament, sequera ocasionats pel canvi climàtic), conèixer quines espècies són més vulnerables i avançar cap a una planificació i gestió adaptatives que permetin mitigar els efectes adversos del canvi climàtic.

Com es fa un inventari forestal

Per dur a terme un inventari forestal en primer lloc cal saber quina és la superfície forestal i per tant cal definir què es considera bosc. La definició adoptada a Catalunya per a l'inventari forestal és la del *mapa de cobertes del sòl de Catalunya* que considera superfície arbrada sempre que les capçades dels arbres adults cobreixin almenys un 5% del terreny i tinguin una àrea mínima de 0.05 ha (500 m²). Inclou les urbanitzacions amb arbres, els boscos de ribera i les plantacions de pollancre i de plàtans, exclou els parcs i jardins urbans i els camps de conreu de llenyoses (oliveres, garrofers i fruiters). Els detalls de la metodologia i la cartografia resultant de les tres edicions d'aquest mapa es poden trobar a <http://www.crea.uab.es/mcsc/>.

Determinada la superfície forestal se situen les parcel·les de mostreig de l'inventari forestal sobre una malla regular d'1x1 km, és a dir, a raó d'una parcel·la per 100 hectàrees (1 km²) de bosc que es revisiten periòdicament cada deu anys aproximadament (Villanueva 2005). A cada parcel·la circular es mostregen els arbres vius o morts i drets en un radi que varia segons el seu diàmetre normal (DN, diàmetre del tronc de l'arbre a 1.30 m d'alçada des de la base) sempre que tinguin almenys 7.5 cm. A cadascun es mesura el seu DN i la seva alçada, es determina l'espècie i es recullen altres dades rellevants com la forma de l'arbre, la qualitat i el seu estat fitosanitari. També es mesuren el nombre de peus de mides inferior en quatre categories de regeneració i l'estructura del matollar. El mostreig periòdic i sistemàtic dels mateixos arbres entre els diferents inventaris de les mateixes parcel·les ens permet conèixer les existències en valors absoluts i per unitat de superfície i els seus canvis en el temps: taxes de creixement, de mortalitat, d'aprofitament i de reclutament. Aquesta mateixa informació es pot tractar des de molts punts de vista (per mides, per espècies o grups d'espècies...), es pot encreuar i enriquir amb altra informació geogràfica que reculli dades de la topografia, de la geologia, del clima, etc., permetent anàlisis complets dels patrons espacials. El tercer inventari forestal nacional (IFN3) a Catalunya es va dur a terme entre el 2000 i el 2001 i va suposar l'aixecament d'11.610 parcel·les de les quals 9458 es van visitar, és a dir, ja van ser mostrejades als anys 1989-1990 durant la campanya de l'IFN2.

Càlculs

Sense entrar en el detall, amb la informació de les dimensions de cada arbre (DN i alçada) a cada parcel·la i per mitjà d'equacions de cubicació i de biomassa específiques de cada espècie, s'estimen el volum de tronc, la biomassa (pes sec) de cada fracció: fusta, escorça, branques i fulles i arrels. A partir del valor de concentració de carboni (C) de cada fracció per cada espècie es fa la seva conversió a estoc de C. Per més informació sobre els detalls de la metodologia de càlcul podeu consultar Gracia *et al.* (2004) i Vayreda *et al.* (2012a).

Superfície actual i canvis de cobertes del sòl

A Catalunya la superfície de bosc a l'any 2005, segons la tercera edició del mapa de Cobertes del Sòl, era de 1.32 milions d'hectàrees que suposen un 41.1% de la superfície de Catalunya, significativament més elevada que la d'Espanya que és del 30.5%. En comparació amb l'any 1993 la superfície forestal a Catalunya ha augmentat en poc més de 100 mil hectàrees de les quals l'arbrada ha augmentat en gairebé 54 mil hectàrees, fet que suposa un augment relatiu del 4.4%. La superfície de matollar ha augmentat en 9 mil hectàrees (1.7%) i la de prats i herbassars en poc més de 35 mil hectàrees (27.4%). D'altra banda, la superfície urbana ha augmentat en 32 mil hectàrees (24%) mentre que la de conreus és l'única que ha disminuït durant aquest període en poc més de 134 mil hectàrees (-12.2%).

Existències forestals per hectàrea i absolutes

En el període de temps entre els dos inventaris forestals hi ha hagut un increment significatiu en el nombre de peus (arbres) passant dels 818 milions de peus als anys 1989-90 als 877 milions dels anys 2000-01, això suposa un increment percentual del 7.2% durant el període. Paral·lelament també ha augmentat el volum de fusta en peu dels 83 milions als 102 milions de m³, fet que suposa un increment del 23%. La proporció en nombre de peus de coníferes i planifolis ha passat dels 57:43 a l'IFN2 al 54:46 a l'IFN3 aquesta diferència és deguda al fet que entre els dos inventaris ha disminuït el nombre de peus de coníferes a la vegada que ha augmentat el nombre de planifolis. Tot i així la proporció en volum de fusta a l'IFN3 encara es manté clarament a favor de les coníferes 68% enfront del 32% dels planifolis. L'estoc mitjà de C total a Catalunya és de 51.8 t C/ha. Proporcionalment una mica més del 16% del C s'emmagatzema al sotabosc i la proporció part aèria i subterrània és del



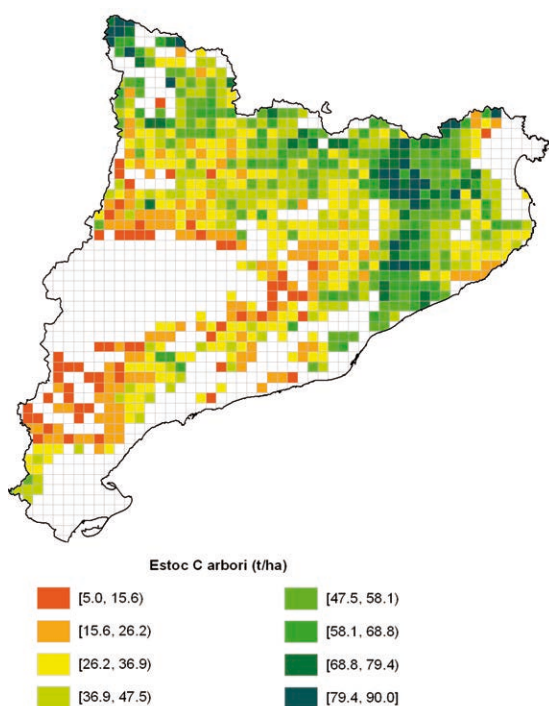


Figura 1. Distribució geogràfica dels estocs mitjans de C arbori en t C/ha a Catalunya. Cada polígon representa una àrea de 5x5 km, és a dir, 25 km² i el valor que representa és la mitjana de les parcel·les de mostreig. El valor només es dona per als polígons que tenen almenys una superfície arbrada del 10%.

67:33. En termes absoluts els boscos catalans acumulaven, als anys 2000-01, 59 milions de tones de C.

Distribució geogràfica de l'estoc de C

La figura 1 ens mostra la distribució espacial dels estocs mitjans de C (t C/ha) de l'estrat arbori. Els valors més elevats d'acumulació a l'estrat arbori, superiors a les 80 t C/ha, es donen a la Serralada Litoral i Prelitoral del nord des del Montnegre-Corredor, passant pel Montseny i Guilleries-Savassona, Puig-Sacalm i a la Vall d'Aran. Uns valors intermedis es donen als Prepirineus, mentre que els valors més baixos, gairebé sempre per sota de les 40 t C/ha, es donen als boscos del voltant de la depressió de l'Ebre i a bona part de la demarcació de Tarragona. Aquest patró encaixa amb força precisió amb el patró de disponibilitat hídrica, essent els valors més elevats d'estoc en els indrets on habitualment la precipitació és més elevada.

Creixement i balanç de C de la biomassa arbòria

A banda de l'interès que pot tenir conèixer amb precisió l'estoc de C emmagatzemat als boscos, més rellevant és saber quina és la seva taxa de creixement i la seva capacitat d'em-

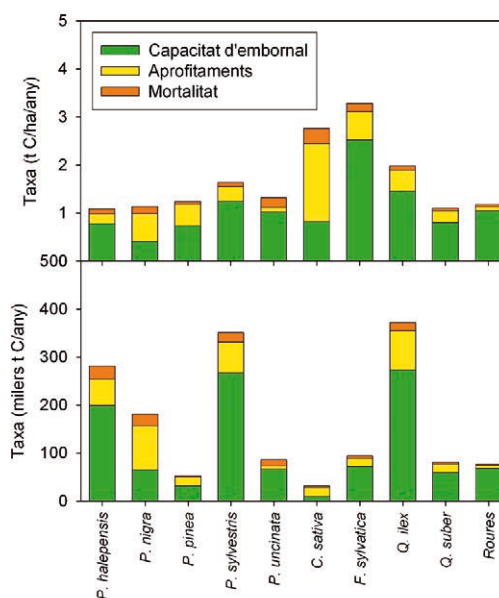


Figura 2. Valors mitjans de les taxes anual en t C/ha/any (a dalt) i de les taxes absolutes en milers de t C/any (a baix) per les espècies més comunes dels boscos. En verd la capacitat d'embornal, en groc la taxa d'aprofitament anual i en taronja les pèrdues ocasionades per mortalitat. Aquestes taxes inclouen la part aèria i subterrània (arrels).

bornal. Aquesta capacitat es pot determinar fàcilment per comparació entre dos inventaris successius perquè és el balanç entre la taxa de creixement dels arbres supervivents i dels que s'incorporen (reclutament), que contribueixen positivament, i les pèrdues ocasionades per la mortalitat (pertorbacions naturals) i la quantitat que s'extreu fruit dels aprofitaments forestals (llenyes i fusta principalment). Si en un període determinat els guanys superen les pèrdues, els boscos actuen com a embornals, és a dir, retiren CO₂ de l'atmosfera, en cas contrari, són font de CO₂, és a dir, emeten CO₂ cap a l'atmosfera.

A la figura 2 (a dalt) es mostren per espècies els valors mitjans anuals de la mortalitat, dels aprofitaments i de la capacitat d'embornal, aquesta última correspon al balanç entre l'increment i les pèrdues ocasionades pels aprofitaments i la mortalitat. Qualsevol de les espècies analitzades tenen un balanç positiu, és a dir, que en el període entre els dos inventaris van actuar com a captadores netes de CO₂. De mitjana per hectàrea, els boscos que més han contribuït són les fagedes, seguides dels alzinars i les pinedes de pi roig. Les castanyedes i les pinedes de pinassa, a causa sobretot dels aprofitaments que han tingut durant el període, han tingut una capacitat d'embornal més modesta.

A la figura 2 (a baix) es mostra la quantitat de C en valor absolut corresponent a cada espècie en termes de mortalitat, aprofitaments i capacitat d'embornal. A la figura 3 es mostra



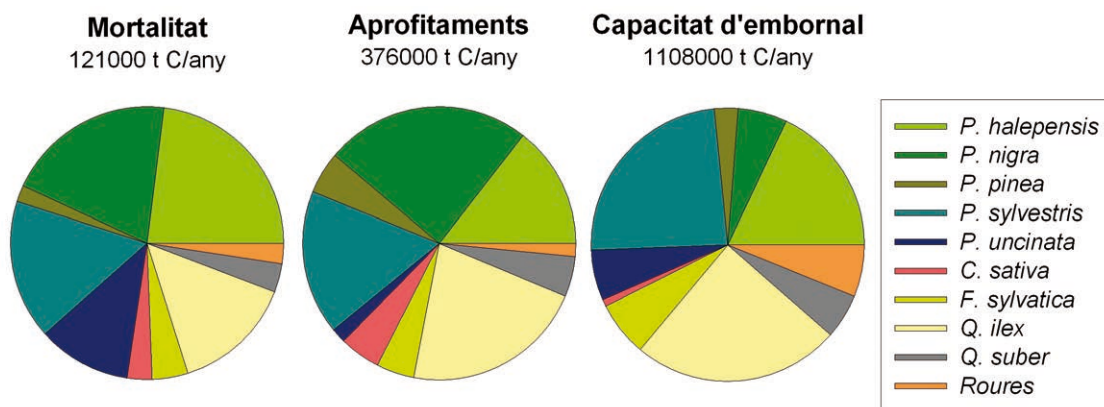


Figura 3. Proporció del valor absolut anual (t C/any) de la mortalitat, dels aprofitaments i de la capacitat d'embornal de cadascuna de les espècies més comunes a Catalunya.

la proporció d'aquestes quantitats absolutes corresponents a les espècies més comunes. Un 60% de la mortalitat (72 mil t C/any) està concentrada en tres espècies de coníferes (*P. halepensis*, *P. nigra* i *P. sylvestris*). Entre els planifolis la que més mortalitat acumula és *Q. ilex* (14%, 17 mil t C/any). El 78% dels aprofitaments (290 mil t C/any) es concentren en quatre espècies que, per ordre decreixent, són *P. nigra*, *Q. ilex*, *P. sylvestris* i *P. halepensis*. Els boscos amb més capacitat d'embornal són, en primer lloc, els alzinars seguits de molt

a prop per les pinedes de pi roig i, finalment, les pinedes de pi blanc; entre les tres espècies capturen gairebé 2/3 parts del C dels boscos catalans (740 mil t C/any).

Què representa el carboni fixat pels boscos catalans?

En termes absoluts i tenint en compte totes les espècies, no només les onze més abundants, en el període entre els dos inventaris forestals (1990-2001) els boscos catalans (estrat arbori aeri i subterrani) han acumulat 1.27 milions t C/any. Cada any hi ha hagut uns aprofitaments de fusta i llenya equivalents a 430 mil t C/any i una mortalitat de 140 mil t C/any. Per tant, com a conseqüència del creixement dels boscos, cada any, de mitjana, el 8% s'ha mort i roman al bosc, el 23% s'ha aprofitat i el 69% restant s'ha anat acumulant cada any al bosc incrementant l'estoc de C viu en peu. De mitjana, una hectàrea de bosc ha fixat cada any 4.1 tones de CO₂. Tenint en compte que les emissions d'origen antropogènic a l'any 2008 van ser de 54.3 milions t CO₂ eq./any i que cada any el bosc ha estat capaç d'absorbir l'equivalent a 4.6 milions de tones de CO₂, representa que el bosc ha capturat només el 8.5% d'aquestes emissions o, dit d'una altra manera, que caldria una superfície arbrada onze vegades superior a l'actual per compensar les emissions de CO₂ dels catalans.

Planificació i gestió: com avaluar les existències amb més precisió

Gràcies als inventaris forestals i a la mesura precisa de tots els arbres la informació es pot tractar de moltes maneres la qual cosa permet quantificar molts i variats aspectes. En particular aquest inventari –gràcies a l'experiència prèvia adquirida en l'Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya (IEFC, Gracia *et al.*, 2004)– es van prendre mesures no només del diàmetre del tronc i de l'alçada de l'arbre sinó que a més

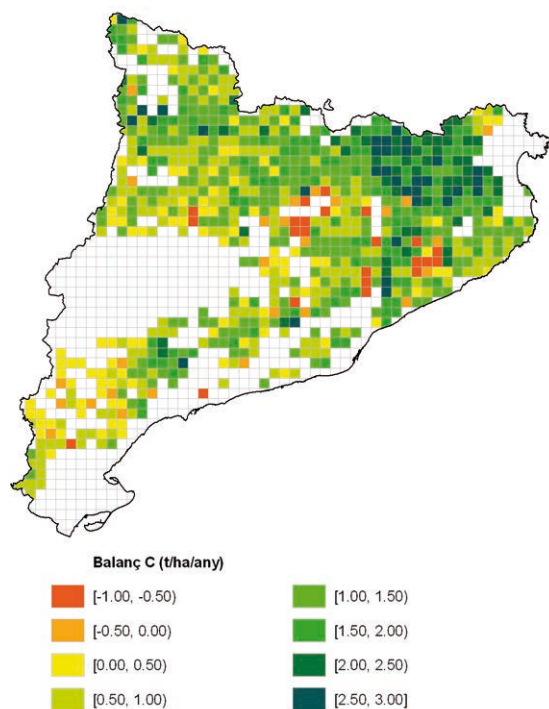


Figura 4. Distribució geogràfica del balanç mitjà (estrat arbori aeri i subterrani) en t C/ha/any a Catalunya. Cada polígon representa una àrea de 5x5 km, és a dir, 25 km² i el valor que representa és la mitjana de les parcel·les de mostreig. El valor només es dona per als polígons que tenen almenys una superfície arbrada del 10%.



es va quantificar, entre altres i mitjançant procediments indirectes i innovadors, l'escorça, les branques i les fulles. Gràcies a aquest valor afegit s'han pogut quantificar fraccions i compartiments amb molta precisió fet que ha resultat molt útil en les tasques de gestió i planificació forestal. Vegem-ne dos exemples:

Hi ha més arbres menors ara que fa 10 anys?

La comparació a partir de la mida dels arbres (classes diamètriques) entre els dos inventaris i pels diferents grups funcionals ha permès detectar si hi ha hagut canvis demogràfics entre l'IFN2 i l'IFN3. El resultat d'aquesta quantificació ens mostra que hi ha hagut un augment d'arbres de les classes diamètriques inferiors ($DN < 17.5$ cm) de l'ordre de 325 mil arbres cada any de caducifolis i de 1.9 milions/ cada any d'esclerofil·les (alzina i surera) i que, en canvi, en el grup de les coníferes s'ha reduït el nombre d'arbres menors a un ritme de 1.2 milions d'arbres per any. Aquest resultat suggereix que, si aquesta mateixa tendència es manté en les properes dècades, hi haurà una progressiva substitució de les coníferes pels caducifolis però sobretot per les esclerofil·les.

Quina quantitat de biomassa de capçades s'abandona al bosc com a conseqüència dels aprofitaments forestals actuals?

Un aprofitament comercial de fusta, tradicionalment suposa endur-se només el tronc de manera que les branques i la punta del tronc (capçada) s'abandonen al bosc. Des de fa uns anys es discuteix la possibilitat d'aprofitar tam-

bé la capçada per a bioenergia. Els inventaris forestals permeten quantificar aquesta fracció amb precisió. Amb els aprofitaments de fusta actuals s'ha pogut determinar que la quantitat anual que es podria obtenir podria ser de 148 mil tones: 100 mil correspondrien als aprofitaments de coníferes, 35 mil d'esclerofil·les i 13 mil de capçades de caducifolis. Aquesta quantitat equival en termes d'energia primària a 400 mil barrils de petroli aproximadament.

Recerca: efectes de l'escalfament en els boscos de la península Ibèrica

Els inventaris forestals nacionals també s'han convertit en una eina imprescindible en l'àmbit de la recerca perquè constitueixen una font d'informació de gran abast territorial que permet analitzar patrons a escala espacial i temporal. Com a resultat del canvi global, els boscos estan acumulant C en àmplies zones del món. Aquesta capacitat sembla que va en augment perquè l'increment del CO_2 atmosfèric actua directament com a fertilitzant i indirectament perquè augmenta la temperatura i per tant allarga el període vegetatiu. No obstant això, a la península Ibèrica, on l'aigua és sovint el principal factor limitant, l'escalfament juntament amb l'augment de l'estoc de C, fruit de l'abandonament de la gestió forestal, redueix la disponibilitat hídrica i per tant la capacitat d'embornal es pot veure seriosament compromesa. De fet, en el període entre els dos inventaris forestals ja hi ha hagut un increment significatiu de la temperatura (fig. 5) que en algunes zones ha arribat a gairebé $2^\circ C$ per sobre dels valors habituals. En aquest context ens vam preguntar d'una banda, si el canvi global havia afectat la capacitat d'embornal dels boscos de la península Ibèrica de manera diferent a partir de l'aigua disponible i de l'altra si la gestió forestal podria haver servit per mitigar l'efecte de l'escalfament.

A la figura 6 es mostra l'efecte conjunt de l'escalfament i la disponibilitat hídrica sobre la capacitat d'embornal en els boscos de la península Ibèrica. Com a resposta a l'escalfament, mentre que els boscos de l'Espanya humida (amb més disponibilitat hídrica) pateixen una reducció important de la seva capacitat d'embornal com a conseqüència de l'escalfament; els boscos de l'Espanya seca (baixa disponibilitat hídrica) l'efecte de l'escalfament no produeix cap efecte negatiu significatiu. Dit d'una altra manera només els boscos del nord d'Espanya i de zones de muntanya –amb presència d'espècies de clima temperat i que a la Península estan al seu límit més meridional– s'han mostrat molt més sensibles a l'efecte de l'escalfament. En canvi, les espècies mediterrànies del centre i sud de la Península –acostumades a suportar temperatures elevades i sobreviure a llargs períodes de sequera– a penes han patit l'efecte de l'escalfament.

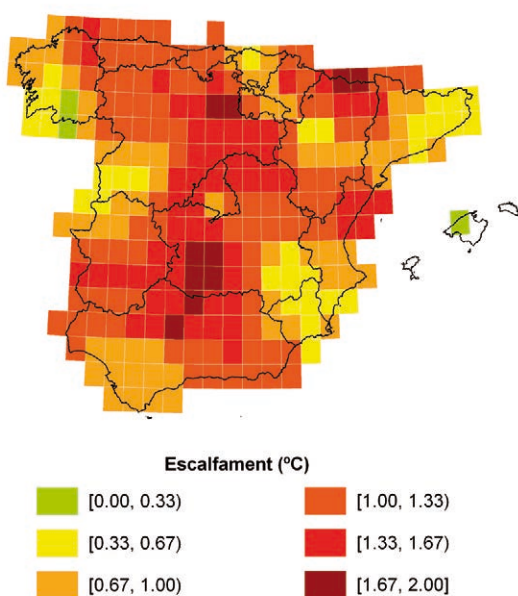


Figura 5. Distribució geogràfica de la tendència recent de la temperatura ($^\circ C$) a l'Espanya peninsular en cel·les de resolució de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$.



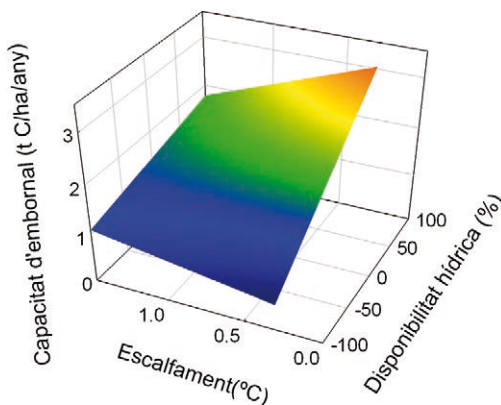


Figura 6. Gràfica tridimensional que mostra els efectes predits pel model estadístic proposat de la interacció sobre la capacitat d'embornal (t C/ha/yr) de la disponibilitat hídrica (%) i l'escalfament (°C).

A la figura 7 es mostra l'efecte que ha tingut la gestió forestal sobre la capacitat d'embornal en relació a l'escalfament. Mentre que en els boscos no gestionats l'efecte de l'escalfament ha tingut un efecte negatiu en la capacitat d'embornal, en els boscos gestionats el seu efecte advers ha quedat cancel·lat. Per tant, la gestió podria ser una eina útil per mitigar, almenys en part, l'efecte de l'escalfament perquè probablement la gestió redueix la competència pels recursos limitants millorant la seva capacitat d'embornal.

El futur dels inventaris

L'ús de les bases de dades dels inventaris forestals tenen algunes limitacions, especialment si es volen fer estudis de canvis en l'estructura

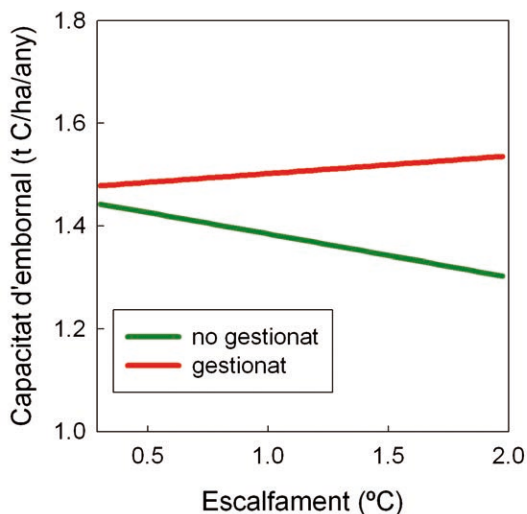


Figura 7. Efectes predits en la capacitat d'embornal (t C/ha/any) de la interacció entre la gestió forestal i l'escalfament (°C).

del bosc en l'espai i el temps. En primer lloc, perquè les parcel·les són mesures discretes en l'espai i en el temps de manera que l'extrapolació a partir de la informació de cada parcel·la a tot el territori sovint no és de fàcil solució. En segon lloc els inventaris forestals no inclouen mesures gaire precises del sotabosc (matollar i herbassar) els quals també poden tenir un paper rellevant en el cicle del C bé actuant com a font o com a embornal en el balanç global de l'ecosistema (Goodale and Davidson, 2002). Com ja suggereixen nombrosos autors, mesurar els estocs de C en qualsevol tipus de vegetació en una parcel·la ja és *per se* un repte important perquè és extraordinàriament costós en temps i diners; però extrapolar els resultats discrets a escala regional és un repte encara més gran. Actualment, una de les tècniques més habituals per abordar aquesta qüestió és per mitjà de sensors làser aerotransportats (LiDAR), tècnica que s'està convertint en una de les tecnologies basades en sensors remots més utilitzada en aplicacions forestals (Maltamo *et al.*, 2006; Gobakken i Næsset, 2009; Magnussen *et al.*, 2010; Mc Roberts *et al.*, 2010). El LIDAR proveeix d'informació tridimensional molt acurada de l'estructura de la coberta forestal (arbrat i sotabosc) sobre grans extensions de terreny. Aquests sensors emeten polsos làser discrets i recullen habitualment entre dos i cinc ecos reflectits pels diferents objectes que es troba pel camí (p.e., diferents capes de vegetació) fins a arribar a terra (últim eco). Els sensors LIDAR van ser concebuts originalment per determinar amb gran precisió l'orografia del terreny (últim eco) però com a producte secundari, amb la resta d'ecos, també es pot estimar l'alçada de la vegetació. La informació agregada dels diferents ecos per una porció de terreny (parcel·la de mostreig) dona una informació acurada de la distribució per alçades de totes les capes de vegetació. Aquesta informació es pot combinar amb informació de camp precisa per construir models estadístics i predir de manera directa l'alçada de la vegetació, però també indirectament el volum de fusta en peu, la biomassa aèria i altres paràmetres biofísics (Næsset 1997a, b; Maltamo *et al.*, 2005) i proporcions de les diferents espècies coexistents (Packalen i Maltamo, 2007) reduint així els costos de l'inventari forestal (Nord-Larsen i Riis-Nielsen, 2010).

Bibliografia

- Bonan, G.B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320: 1444-1449.
- Canadell, J.G., Le Quéré, C., Raupach, M.R., Field, C.B. Buitenhuis, E.T., Ciais, P., Conway, T.J., Gillett, N.P., Houghton, R.A. i Marland, G. (2007). Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from





- economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 18866-18870.
- Caspersen, J.P., Pacala, S.W., Jenkins, J., Hurtt, G.C., Moorcroft, P.R. i Birdsey, R.A. (2000). Contribution of land-use history to carbon accumulation in US forest. *Science*, 290: 1148-1151.
- Charru, M., Seynavem, I., Morneau, F. i Bon-temps, J.D. (2010). Recent changes in forest productivity: An analysis of national forest inventory data for common beech (*Fagus sylvatica* L.) in north-eastern France. *Forest Ecology and Management*, 260: 864-874.
- Ciais, P., Schelhaas, M.J., Zaehle, S., Piao, S.L., Cescatti, A., Liski, J., Luyssaert, S., Le-Maire, G., Schulze, E.D., Bouriaud, O., Freibauer, A., Valentini, R. i Nabuurs, G.J. (2008). Carbon accumulation in European forests. *Nature Geoscience*, 1: 425-429.
- Ellenberg H (1988). *Vegetation ecology of Central Europe*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gobakken, T. i Næsset, E. (2009). Assessing effects of laser point density, ground sampling intensity, and field sample plot size on biophysical stand properties derived from airborne laser scanner data. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 1036-1052.
- Goodale, C.L. i Davidson, E.A. (2002). Uncertain sinks in the shrubs. *Nature*, 418: 593-594.
- Goodale, C.L., Apps, M.J., Birdsey, R.A., Field, C.B., Heath, L.S., Houghton, R.A., Jenkins, J.C., Kohlmaier, G.H., Kurz, W., Liu, S., Nabuurs, G.J., Nilsson, S. i Shvidenko, A.Z. (2002). Forest carbon sinks in the Northern hemisphere. *Ecological Applications*, 12: 891-899.
- Gracia, C., Burriel, J.A., Ibàñez, J.J., Mata, T. i Vayreda, J. (2004). *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Mètodes. Volum 9*. CREA, Bellaterra, 112 pp.
- Körner, C. (2003). Slow in, rapid out: carbon flux studies and Kyoto targets. *Science*, 300: 1242-1243.
- Liski, J., Korotkov, A.V., Prins, C.F.L., Karjalainen, T., Victor, D.G. i Kauppi, P.E. (2003). Increased carbon sink in temperate and boreal forests. *Climate Change*, 61: 89-99.
- Magnussen, S., Næsset, E. i Gobakken, T. (2010). Reliability of LiDAR derived predictors of forest inventory attributes: A case study with Norway spruce. *Remote Sensing of Environment*, 114: 700-712.
- Maltamo, M., Packalén, P., Yub, X., Eerikäinen, K., Hyyppä, J. i Pitkänen J. (2005). Identifying and quantifying structural characteristics of heterogeneous boreal forests using laser scanner data. *Forest Ecology and Management*, 216: 41-50.
- Maltamo, M., Eerikäinen, K., Packalén, P. i Hyyppä J. (2006). Estimation of stem volume using laser scanning-based canopy height metrics. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 426-436.
- Mc Roberts, R.E., Tomppo, E.O. i Næsset, E. (2010). Advances and emerging issues in national forest inventories. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25: 368-381.
- Næsset, E. (1997a). Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52: 49-56.
- Næsset, E. (1997b). Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 61: 246-253.
- Nord-Larsen, T. i Riis-Nielsen T. (2010). Developing an airborne laser scanning dominant height model from a countrywide scanning survey and national forest inventory data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25: 262-272.
- Packalen, P. i Maltamo, M. (2007). The k-MSN method for the prediction of species-specific stand attributes using airborne laser scanning and aerial photographs. *Remote Sensing of Environment*, 109: 328.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. i Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the World's forests. *Science* 333: 988-993.
- Pretzsch, H. (1996). Growth trends of forests in southern Germany. In: Spiecker, H., Kohl, M., Skovsgaard, J.P., Mielikäinen, K. (eds.), *Growth trends in European forests*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 107-131.
- Vayreda, J., Gracia, M., Canadell, J.G. i Retana, J. (2012a). Spatial patterns and predictors of forest carbon stocks in western Mediterranean. *Ecosystems*, 15: 1258-1270.
- Vayreda, J., Martínez-Vilalta, J., Gracia, M., i Retana, J. (2012b). Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests. *Global Change Biology*, 18: 1028-1041.
- Villaeclusa, R. i Díaz, R. (eds.). (1998). *Segundo Inventario Forestal Nacional (1986-1996)*. España. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, ICONA, Madrid.
- Villanueva, J.A. (ed.). (2005). *Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007)*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Woodward, F.I. (1987). *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press, Cambridge.