

## Estudi dendroecològic dels avets (*Abies alba* L.) i els faigs (*Fagus sylvatica* Mill.) del sot dels Avets a Vallforneres

ADRIÀ BARBETA,<sup>1,2,3</sup> JOSEP ANTONI PUJANTELL,<sup>4</sup> CARLOS BARRIOCANAL,<sup>4</sup> MARTÍ BOADA,<sup>4</sup> JOSÉ EDUARDO FUENTES<sup>4</sup> i JOSEP PEÑUELAS<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>INRA, UMR ISPA, F-33140, Villenave d'Ornon, France

<sup>2</sup>Unitat d'Ecologia Global. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC)

<sup>3</sup>Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)

<sup>4</sup>Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA). Universitat Autònoma de Barcelona

### Resum

El canvi climàtic està causant la migració, latitudinal i altitudinal, de moltes espècies vegetals a la recerca de condicions òptimes per al seu desenvolupament. Al massís del Montseny, trobem dues de les poblacions més meridionals d'importantes espècies forestals europees, el faig (*Fagus sylvatica*) i l'abet (*Abies alba*). Es proposa d'analitzar els patrons de creixement a llarg termini de l'abet i el faig a Vallforneres i determinar-ne la sensibilitat climàtica del creixement amb tècniques dendrocronològiques. Els resultats indiquen que la població d'abet és relativament jove. El conjunt de la població de faigs assolí taxes de creixement estables i pròpies d'un bosc madur al 1960 i, des de llavors, les seves taxes de creixement han disminuït progressivament. Recentment, els avets presenten un creixement mitjà superior al dels faigs. El creixement de les dues espècies és sensible als anys amb estius càlids i secs. L'efecte negatiu del clima estival és relativament més gran en els avets. El canvi temporal de la sensibilitat climàtica del creixement apunta que els avets fa diverses dècades que veuen limitat el seu creixement per la sequera estival. La sensibilitat climàtica s'ha començat a notar en els darrers trenta anys.

### Paraules clau

Ecologia forestal, dendroecologia, canvi climàtic, anells de creixement, boscos, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*

### Resumen

#### Estudio dendroecológico de los abetos (*Abies alba* L.) y las hayas (*Fagus sylvatica* Mill.) del Sot dels Avets en Vallforneres

El cambio climático está causando la migración, latitudinal y altitudinal, de muchas especies vegetales en busca de condiciones óptimas para su desarrollo. En el macizo del Montseny, encontramos dos de las poblaciones más meridionales de importantes especies forestales europeas, el haya (*Fagus sylvatica*) y el abeto (*Abies alba*). Se propuso analizar los patrones de crecimiento a largo plazo del abeto y el haya en Vallforneres y determinar la sensibilidad climática de su crecimiento con técnicas dendrocronológicas. Los resultados indican que la población de abeto es relativamente joven. El conjunto de la población de hayas alcanzó tasas de crecimiento estables y propias de un bosque maduro en 1960 y, desde entonces, sus tasas de crecimiento han disminuido progresivamente. Recientemente, los abetos presentan un crecimiento medio superior al de las hayas. El crecimiento de las dos especies es sensible a los años con veranos cálidos y secos. El efecto negativo del clima estival es relativamente mayor en los abetos. El cambio temporal de la sensibilidad climática del crecimiento apunta a que los abetos hace varias décadas que ven limitado su crecimiento por la sequía estival. La sensibilidad climática se ha empezado a notar en los últimos treinta años.

### Palabras clave

Ecología forestal, dendroecología, cambio climático, anillos de crecimiento, bosques, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*

### Abstract

#### Dendroecological Study of Silver Fir Trees (*Abies alba* L.) and European Beech Trees (*Fagus sylvatica* Mill.) at Sot dels Avets in Vallforneres

Climate change is causing the latitudinal and altitudinal migration of many plant species in search of optimal conditions for their growth. On Montseny massif there are two of the most southern populations of major European forest species: the European beech (*Fagus sylvatica*) and the silver fir (*Abies alba*). We analysed the long-term growth patterns of fir and beech in Vallforneres and determined the climate sensitivity of their growth using dendrochronological techniques. The results indicate that the fir population is relatively young whereas the beech population as a whole achieved the steady growth rates of a mature

forest in 1960 and since then its growth rates have progressively decreased. Recently average growth of firs has been higher than for beeches. The growth of the two species is sensitive to years with hot, dry summers. The negative effect of the summer climate is relatively greater in firs. The time change in the climate sensitivity of the growth suggests that the firs' growth has been limited for several decades by the summer drought. Climate sensitivity has become noticeable over the last thirty years.

#### **Keywords**

Forest ecology, dendroecology, climate change, growth rings, forests, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*

## **Introducció**

L'augment de temperatura que ha experimentat el planeta en les darreres dècades està produint canvis en la distribució de les espècies. En el cas de les plantes, s'han documentat canvis altitudinals i latitudinals en ecosistemes boreals, temperats, mediterranis i tropicals (ALLEN I BRESHEARS, 1998; PEÑUELAS I BOADA, 2003; COLWELL *et al.*, 2008; LENOIR *et al.*, 2009). La teoria del canvi global ens diu que les distribucions d'espècies es desplacen de zones que es tornen massa càlides cap a d'altres de més fresques (JUMP *et al.*, 2009), és a dir, en direcció als pols o, més habitualment, cap a altituds superiors dins una mateixa regió. Per tant, les poblacions d'una determinada espècie més properes a l'equador són susceptibles de desaparèixer. Sovint, aquestes poblacions es troben en indrets amb particularitats topogràfiques que confereixen microclimes rars a escala regional, els anomenats refugis climàtics. Aquests enclavaments podrien evitar o ajornar l'extinció d'espècies regionalment, com ja ocorregué en canvis climàtics passats. Així doncs, l'estudi del funcionament i la sensibilitat climàtica de poblacions relict situades en refugis climàtics és rellevant per fer projeccions de la distribució d'espècies en el context del canvi global. Al massís del Montseny, trobem les poblacions més meridionals de dues importants espècies forestals europees, el faig (*Fagus sylvatica* L.), que es distribueix àmpliament per tot el continent fins al sud d'Escandinàvia, i l'abet (*Abies alba* Mill.), molt comú en àrees muntanyoses centreeuropees com els Alps i els Carpats. Totes dues espècies abunden també en muntanyes de les penínsules mediterrànies; a la Ibèrica, les poblacions importants més meridionals es troben al Montseny.

Els anells de creixement dels arbres són una eina potent per a l'estudi de la resposta dels arbres al clima a llarg termini. Les cronologies de gruix d'anells s'han utilitzat àmpliament per determinar relacions entre les variables climàtiques i el creixement (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2014) o detectar tendències de creixement a llarg termini (PEÑUELAS *et al.*, 2008). L'aplicació de tècniques dendrocronològiques és adequada per a l'estudi de les conseqüències del canvi global, ja que permet obtenir dades a escales temporals rellevants per a fenòmens ambientals que esdevenen al llarg de dècades o fins i tot de segles. Malgrat que la dendrocronologia sovint es fixa únicament en una part dels factors que influeixen en la viabilitat de les poblacions d'arbres (el creixement diametral), i no té en compte altres factors com ara la reproducció o la demografia, és ben sabut que una disminució del creixement és el primer indicador del declivi d'una població.

La capçalera de la riera de Vallforners, que davalla dels confins meridionals de la Calma, conté una petita població d'avets que ja fou descrita per LLOBET (1947). La població d'avets s'enclava a dins i als voltants d'una de les fagedes més meridionals del massís del Montseny. Les fagedes, al vessant sud-oest de la muntanya, són restringides a les obagues i fondalades poc exposades (BOLÒS, 1983). És possible que aquesta limitada presència es remunti a la desforestació de la Calma que tingué lloc fa aproximadament cinc segles (OLIVER, 2003). Independentment de l'origen de la marginalitat d'aquestes poblacions, hi ha estudis recents de les fagedes del vessant de llevant del Montseny que han mostrat un declivi del creixement associat a l'increment de temperatura i de les sequeres. Per tant, en aquest estudi es proposa: 1) analitzar els patrons de creixement a llarg de termini de l'avet i el faig a Vallforners, i 2) determinar-ne la sensibilitat climàtica del creixement, i si ha variat en les darreres dècades. La conservació d'aquests boscos és clau per al manteniment de la biodiversitat a escala subregional. En aquest sentit, cal una millor comprensió de la relació d'aquestes poblacions amb l'augment de temperatura, per adequar les mesures de conservació i gestió.

## Metodologia

L'àrea d'estudi se situa a la capçalera de la riera de Vallforners, indret conegut també com el sot del Avets (41° 45' 00" N, 2° 19' 50" E), dins el terme municipal de Tagamanent (Barcelona). La fageda i els individus esparsos d'avets apareixen a altituds d'entre 1.100 i 1.250 msnm amb orientacions oest-nord-oest. Per sota aquesta altitud, hi domina l'alzinar (*Quercus ilex* L.) i, per sobre, trobem les pastures i les landes de l'altiplà de la Calma. L'estació meteorològica més propera és la de Tagamanent, que es troba a 2 km i a una altitud lleugerament inferior (1.030 msnm) de la zona d'estudi. La pluviometria anual és de 737,7 mm, amb una mitjana de les temperatures màximes de 15,75 °C, i de les mínimes de 8,17 °C. Les pluges són més abundants a la primavera i la tardor, tot i que a l'hivern i l'estiu, la pluviometria mensual mitjana no és menor de 35 mm. Segurament, les temperatures són una mica més baixes a la zona d'estudi a causa de l'altitud. Així mateix, és possible que la freqüència de les boires sigui més elevada, tant per l'altitud superior com perquè la vall de Vallforners està més oberta a la direcció dominant de la marineda (SSW) (PANAREDA i BOCCIO, 2014). L'any 1947, Llobet va documentar-hi 12 avets adults, i avui en dia n'hi hauria uns 40. Pel que fa a la fageda, tot i que presenta individus madurs (més de cent anys), hi ha zones on la presència de peus morts de *Juniperus communis* (L.) ens indica un procés recent d'expansió i densificació del bosc i tancament de la capçada, ja que aquest arbust és més propi de landes i espais oberts.

El treball de camp es realitzà el maig i l'abril de 2016. De cada espècie, es mostrejaren aleatòriament 30 individus dominants o codominants. De cada arbre,

s'extragueren dues mostres de fusta (cores), en perpendicular a la pendent del terreny, amb barrines Pressler de 4,3 mm de diàmetre. Les mostres de fusta foren col·locades en suports de fusta. Posteriorment, s'assecaren a temperatura ambient i s'enganxaren amb cola als suports. Després, es poliren amb paper de vidre fins a aconseguir una superfície plana i amb l'anatomia de la fusta ben visible. Les mostres foren escanejades a 1.200 dpi, i els anells s'identificaren i es mesuraren amb el programa CDendro (<<http://www.cybis.se/forfun/dendro>>). Els anells foren datats amb el mateix programa. La datació dels anells fou comprovada estadísticament amb el paquet dplR (BUNN, 2008), del programa estadístic R (R CORE DEVELOPMENT TEAM, 2012). Pel que fa a les dades climàtiques, s'utilitzaren les sèries del Tagamanent (1996-2015) i del turó de l'Home (1920-2015). Les correlacions entre aquestes dues estacions serviren per construir una sèrie climàtica per al Tagamanent des de 1920.

El gruix dels anells anual, fou convertit en increment d'àrea basal utilitzant el diàmetre i segons la fórmula següent:

$$BAI_t = \pi R_t^2 - \pi R_{t-1}^2,$$

en què  $R$  és el radi de l'arbre i  $t$  un any determinat de la cronologia. Les tendències de l'increment d'àrea basal foren analitzades amb regressions lineals. Per tal de determinar la sensibilitat climàtica del creixement, les cronologies de gruix d'anell foren estandarditzades per mitjà de la funció *Friedman supersmoother* (FRIEDMAN, 1984). D'aquesta manera, s'eliminen les fluctuacions de baixa freqüència i es retenen únicament les que són causades per les variacions interanuals del clima. Les sèries estandarditzades i l'índex de gruix d'anell es combinaren per aconseguir una cronologia estandarditzada per a cada espècie. Finalment, aquesta cronologia fou correlacionada amb les temperatures mensuals màximes i mínimes i amb la precipitació mensual de l'any del creixement de l'anell i els darrers sis mesos de l'any anterior, per al període 1960-2015. També es calcularen les mateixes correlacions en finestres de trenta anys començant pel període 1960-1990 i acabant per 1985-2015. Totes aquestes anàlisis foren realitzades amb el paquet bootRes (ZANG i BIONDI, 2013) del programa R.

## Resultats

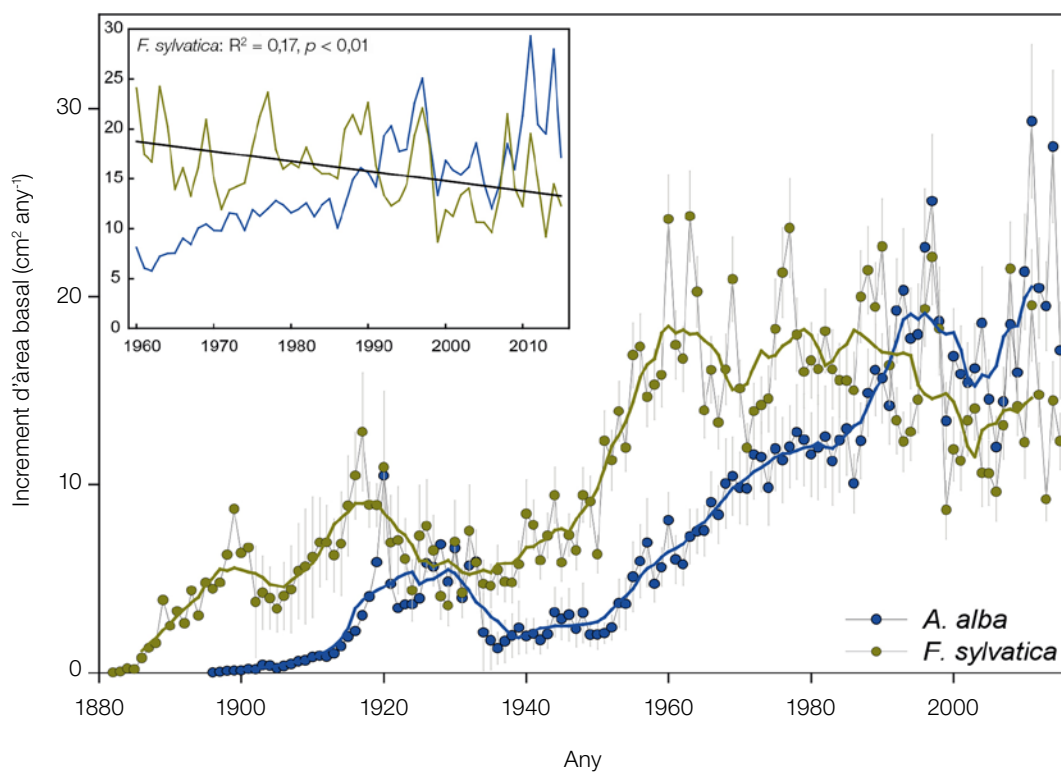
Les estadístiques de la cronologia de creixement les resumeix la [taula 1](#). Tant la població d'avet com la de faig presenten arbres dominants centenaris, però també d'altres de més joves que ja assoleixen la capçada superior del bosc en només vint-i-cinc (avet) i trenta-nou (faig) anys. La principal diferència entre les dues poblacions és que la de faig arribà a un creixement madur l'any 1960, mentre que l'avet no ho feu fins l'any 1994, tal com indiquen els punts d'inflexió de la mitjana

calculada en finestres de nou anys de l'increment d'àrea basal (**gràfic 1**). El creixement d'àrea basal mitjà del faig un cop assolit el creixement madur (1960-2015) va ser de  $16,02 \pm 0,52 \text{ cm}^2 \text{ any}^{-1}$ . Durant el període en què l'abet assolí el creixement madur (1994-2015), el creixement del faig fou de  $14,02 \pm 0,82 \text{ cm}^2 \text{ any}^{-1}$ , significativament més baix ( $p < 0,001$ ) que el de l'abet, que va ser de  $18,61 \pm 0,94 \text{ cm}^2 \text{ any}^{-1}$  per al mateix període. Com que el faig té una cronologia de creixement prou llarga, se'n pogué calcular la tendència temporal, i es trobà una relació negativa del creixement amb el temps (requadre a l'extrem superior esquerre del **gràfic 1**,  $p < 0,01$ ).

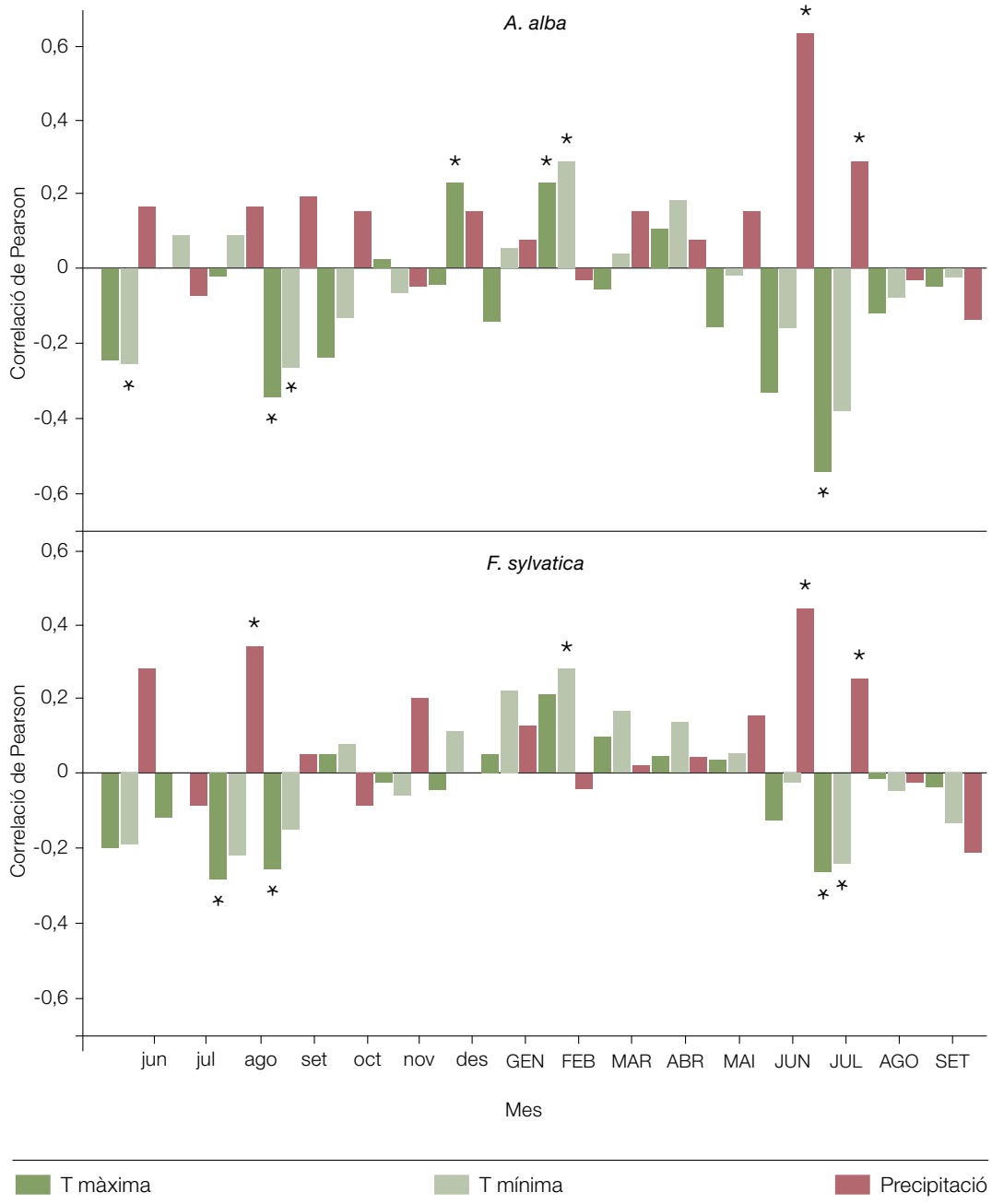
**Taula 1. Estadístiques de les cronologies d'anells de creixement d'abet i alzina**

Espècie	N (arbres)	Període	Durada (anys)	Senyal comú de la població (EPS)	Correlació mitjana entre sèries	Sensitivitat mitjana	Autocorrelació (1)	Gruix d'anell mitjà (mm)	Desviació estàndard
<i>Abies alba</i>	29	1896-2015	119	0,92	0,31	0,23	0,66	2,49	2,44
<i>Fagus sylvatica</i>	28	1882-2015	133	0,96	0,45	0,29	0,69	2,01	1,83

**Gràfic 1. Increment de l'àrea basal de l'abet i el faig (1882-2015). El requadre superior esquerre representa les tendències de creixement per al període 1960-2015. Les barres d'error són l'error estàndard de la mitjana**



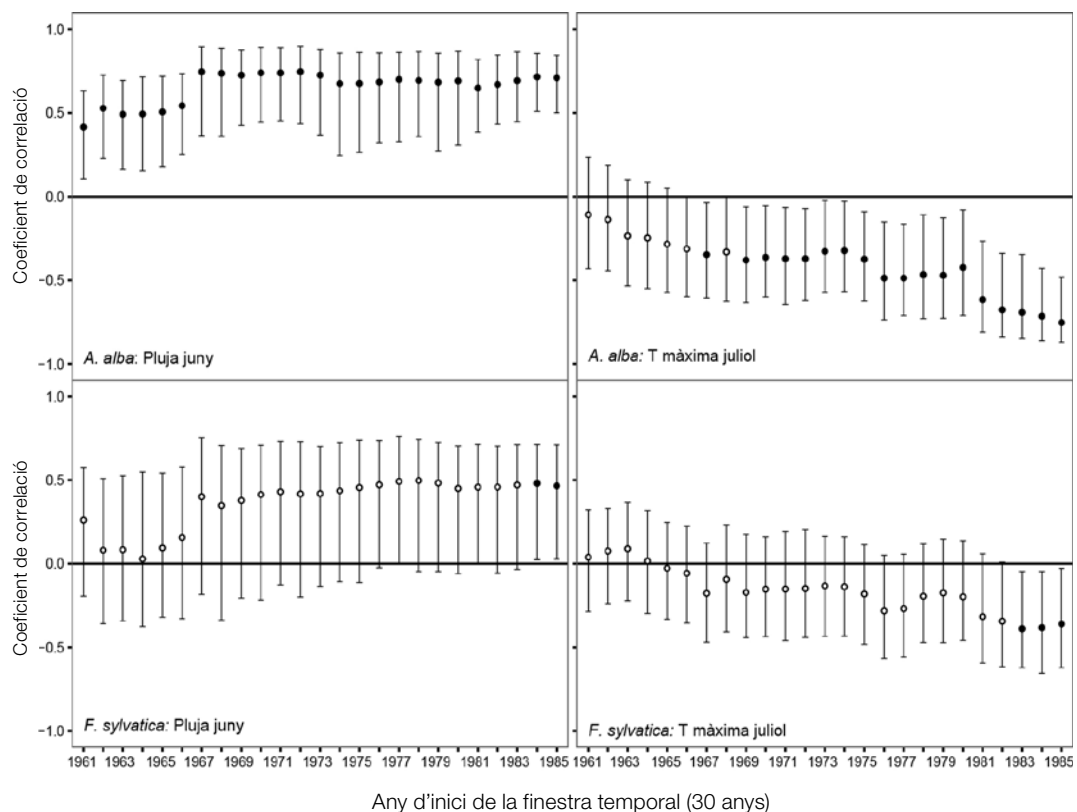
**Gràfic 2. Correlacions entre el gruix d'anell estandarditzat i les variables climàtiques. Els asteriscs denoten correlacions significatives ( $p < 0,05$ )**



Tal com mostra el **gràfic 2**, la sensibilitat del creixement a les temperatures màximes i mínimes i a la precipitació durant el període 1960-2015 foren, en trets generals, semblants entre les dues espècies. Totes dues presentaren correlacions positives amb la precipitació de juny i juliol i una correlació negativa amb la temperatura de juliol. La temperatura dels mesos finals de l'estiu de l'any anterior al creixement també estigué negativament correlacionada amb el creixement. Ambdues espècies presentaren efectes positius de la temperatura al febrer. Malgrat aquestes similituds, també hi ha algunes diferències, principalment pel que

fa a la força de les correlacions. La sincronització entre els arbres de cada una de les poblacions sembla que no té un paper rellevant en la força de les correlacions, ja que el senyal comú dels fajos és més alt que el dels avets, al contrari que la força de les correlacions amb les variables climàtiques en els mesos d'estiu. Concretament, la correlació positiva amb la pluja del mes de juny fou més forta per a l'abet que per al faig, així com la correlació negativa de la temperatura màxima del juliol. Així mateix, s'observa que el creixement de l'abet estigué positivament correlacionat amb la temperatura mínima del desembre, mentre que això no va passar amb el faig. La pluja de l'agost va tenir un efecte positiu únicament en el creixement del faig.

**Gràfic 3. Evolució temporal de les correlacions entre el gruix d'anell i les variables climàtiques. Les barres d'error són intervals de confiança (95%), si no toquen la línia del zero, la correlació és significativa ( $p < 0,05$ )**



L'anàlisi de la variació temporal de les correlacions del creixement amb les variables climàtiques es realitzà amb les dues més rellevants segons els resultats que presenta el **gràfic 2**: la pluja del juny i la temperatura màxima del juliol. Es calcularen les correlacions per a períodes successius de trenta anys. En el cas de la pluja de juny, s'observa que en l'abet tingué efectes positius i significatius per a totes les finestres temporals, des de 1960-1990 fins a 1985-2015, si bé aquest efecte fou menor per als períodes amb any d'inici anterior a 1967. Per contra, el creixement



del faig només presentà correlacions significativament positives amb la pluja de juny per als dos períodes més recents (anys d'inici 1984 i 1985). L'efecte negatiu de la temperatura màxima del juliol presenta unes diferències entre espècies que segueixen el mateix patró. El creixement de l'abet tingué correlacions significativament negatives per a finestres temporals amb els anys d'inici a la darrera dels anys seixanta, mentre que el faig només les presentà per a les últimes tres finestres (a partir de 1983). A diferència de la pluja del juny, l'efecte negatiu de la temperatura màxima del juliol sobre el creixement s'ha anat incrementant clarament amb el temps.

## Discussió

L'increment anual mitjà d'àrea basal, tant dels avets com dels faigs de Vallforners, es troba en la franja baixa en comparació amb altres poblacions del marge meridional d'aquestes espècies de distribució principalment centreeuropea. Respecte a un estudi en diverses poblacions d'*A. alba* situades al Pirineu central, els avets de Vallforners tenen creixements similars als de les poblacions de localitats més seques (GAZOL *et al.*, 2016). Pel que fa al faig, la població de Vallforners té un creixement fins i tot inferior al d'altres poblacions del límit sud que es troben als enclavaments amb menys pluviometria de tota l'àrea de distribució (CAVIN i JUMP, 2016). En comparació amb les fagedes del vessant oriental del Montseny, els faigs de Vallforners creixen en nivells clarament inferiors que els de la vall de Santa Fe, situats a una altitud similar (PEÑUELAS *et al.*, 2008). Val a dir que la pluviometria és més elevada als vessants orientats a llevant. Tanmateix, el creixement mitjà del faig en els darrers vint anys a Vallforners ( $16,02 \pm 0,52 \text{ cm}^2 \text{ any}^{-1}$ ) és més baix que el dels faigs de límit inferior de la fageda de vessants de llevant, que es troba entre els 940 i els 1.040 msnm, és a dir, a menor altitud que el sot dels Avets (1.100-1.250 msnm). Així doncs, es pot concloure que els increments d'àrea basal observats confirmen que les poblacions de faig i d'abet de Vallforners ocupen una localitat extrema, no només geogràficament, sinó també ecològicament.

Les tendències temporals a llarg termini del creixement foren divergents entre l'abet i el faig. Tal com mostra el [gràfic 1](#), l'abet no assoleix valors estables del creixement mitjà fins a l'any 1994. Això és degut al fet que la tendència temporal del creixement va ser fins fa vint anys dominada pels efectes de l'edat. És a dir, que una gran part dels arbres que conformen la població estudiada encara no havien assolit la dominància dins el bosc. En altres paraules, la competència pels recursos hídrics, els nutrients i la llum no els permetia créixer en el seu màxim potencial. Aquest fet impedeix interpretar les tendències del creixement a llarg termini en relació al canvi climàtic. Aquest tipus d'anàlisi només es pot fer amb poblacions madures el creixement mitjà de les quals no està afectat per l'estructura d'edats, almenys des de que es començà a notar l'increment de tempe-



ratura causat per les emissions de gasos d'efecte hivernacle (dècada de 1970, aproximadament). En canvi, l'estructura d'edats de la població de faig sí que permet la interpretació dels efectes del canvi climàtic en el creixement. En aquesta espècie, s'observa que el creixement madur s'assolí l'any 1960. De llavors ençà, la tendència significativament negativa de l'increment d'àrea basal mostra que aquesta és una població en declivi. Habitualment, les poblacions d'arbres madures mostren tendències positives o, si més no, estables en l'increment d'àrea basal, per tant, una tendència negativa és un fort indicador de pèrdua de vigor i declivi (PEÑUELAS *et al.*, 2008). El declivi del creixement del faig també s'ha observat al límit sud de la fageda del vessant llevant del Montseny (PEÑUELAS *et al.*, 2008). Tot i que les poblacions de faig del límit equatorial de la distribució de l'espècie són més resistents a la sequera que d'altres de més septentrionals, la recuperació del creixement després d'episodis de sequera és més costosa a les poblacions meridionals (CAVIN i JUMP, 2016). Per tant, el declivi del creixement observat a Vallforners podria no anar tan lligat a un augment de les temperatures com als efectes persistents de les sequeres, que disminueixen el creixement dels arbres durant diversos anys després de l'episodi (CAVIN i JUMP, 2016).

Segons els resultats que presenta el [gràfic 2](#), el creixement és altament sensible al clima; els anys amb estius càlids i secs són perjudicials per a ambdues espècies. Hi ha poblacions d'abet en muntanyes mediterrànies que també presenten aquesta sensibilitat, però n'hi ha d'altres que no (RITA *et al.*, 2014). En un estudi fet en avetoses de tot el nord de la península Ibèrica (incloent-hi el Montseny), s'observà que les correlacions més fortes eren amb l'estiu de l'any anterior (MACIAS *et al.*, 2006). En aquest estudi, s'han trobat també aquestes correlacions, però les més fortes, en canvi, són amb les de l'any del creixement de l'anell ([gràfic 2](#)). Les correlacions del creixement del faig amb el clima tenen semblança amb les fagedes de menys altura del vessant de llevant del Montseny. A diferència d'aquestes, la pluja té un efecte positiu en el juny de l'any de creixement, mentre que a les poblacions llevantine situades a 940-1.040 msnm les pluges de l'abril i el maig també hi tenen un efecte positiu (JUMP *et al.*, 2007). L'anàlisi de les correlacions amb el clima en finestres temporals ha revelat que l'efecte positiu de la precipitació del juny no ha variat pràcticament pel que fa a l'abet i, en canvi, respecte al faig, no ha aparegut fins als darrers anys ([gràfic 3](#)). Aquest fet podria estar relacionat amb la tendència negativa de l'increment d'àrea basal del faig, que sembla haver estat causat per l'augment de les sequeres estivals en les tres últimes dècades. De la mateixa manera, l'efecte de la temperatura màxima de juliol també s'ha començat a notar recentment en el creixement del faig, mentre que en l'abet s'ha anat incrementant però ja era palès a mitjan segle xx. Així doncs, és raonable pensar que les condicions climàtiques foren òptimes fins a l'últim quart del segle xx per al faig; per contra, sembla que l'abet, a Vallforners, tindria més sensibilitat a la sequera estival ja en períodes anteriors al fort augment de temperatura i una freqüència més elevada dels episodis de sequera ocorreguts en les tres darreres dècades.

Les taxes de creixement, la sensibilitat a les altes temperatures i la sequera estival, juntament amb l'augment d'aquests efectes observat en les últimes dècades tant per a l'abet com per al faig, confirmen que el bosc del sot dels Agets resulta una localitat extrema, climàticament i ecològica, per a totes dues espècies. Si continuen produint-se l'augment de temperatura i la disminució de les precipitacions a l'estiu, tal com està previst per a la regió, és molt possible que aquests boscos experimentin declivis de creixement importants. No es pot descartar que les afectacions vagin més enllà del creixement i compliquin processos demogràfics com són el reclutament i l'establiment. Si això succeís, la viabilitat de la població de l'abet es veuria seriosament amenaçada, atès que el nombre d'individus que la conformen és molt reduït. En conseqüència, per tal de predir amb precisió el destí d'aquestes poblacions d'alt valor per a la biodiversitat local, és necessari estudiar les tendències en el creixement, però també ho és parar atenció als processos demogràfics, que determinaran la dinàmica forestal a llarg termini.

## Agraïments

Els autors agraeixen la col·laboració dels tècnics del Parc Natural del Montseny i l'ajuda de Jofre Carnicer en el treball de camp. Aquest estudi ha estat finançat pels projectes ERC Synergy SyG-2013-610028 IMBALANCE-P, CGL2013-48074-P, del Govern espanyol, i SGR2014-274, de la Generalitat de Catalunya.

## Bibliografia

- ALLEN, C. D.; BRESHEARS, D. D. (1998): «Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: Rapid landscape response to climate variation». *Proc. Natl. Acad. Sci.*, núm. 95; p. 14839-14842.
- BOLÒS, O. de (1983): *La vegetació del Montseny*. Barcelona: Diputació de Barcelona. Serveis de Parcs Naturals.
- BUNN, A. G. (2008): «A dendrochronology program library in R (dplR)». *Dendrochronologia*, núm. 26; p. 115-124.
- CAVIN, L.; JUMP, A. S. (2016): «Highest drought sensitivity and lowest resistance to growth suppression are found in the range core of the tree *Fagus sylvatica* L. not the equatorial range edge». *Glob. Chang. Biol.*, núm. 23; p. 362-379.
- COLWELL, R. K.; BREHM, G.; CARDELÚS, C. L.; GILMAN, A. C.; LONGINO, J. T. (2008): «Global Warming, Elevational Range Shifts, and Lowland Biotic Attrition in the Wet Tropics». *Science*, núm. 322; p. 258-261.
- FRIEDMAN, J. H. (1984): «A variable span smoother». A: *Laboratory for Computational Statistics*, Stanford University. (Technical Report, núm. 5)

- GAZOL, A.; CAMARERO, J. J.; GOMEZ-APARICIO, L. (2016): «Functional diversity enhances silver fir growth resilience to an extreme drought». *J. Ecol.*, núm. 104; p. 1063-1075.
- JUMP, A. S.; HUNT, J. M.; PEÑUELAS, J. (2007): «Climate relationships of growth and establishment across the altitudinal range of *Fagus sylvatica* in the Montseny Mountain, northeast Spain». *Écoscience*, núm. 14; p. 507-518.
- JUMP, A. S.; MÁTYÁS, C.; PEÑUELAS, J. (2009): «The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species». *Trends Ecol. Evol.*, núm. 24; p. 694-701.
- LENOIR, J.; GÉGOUT, J.-C.; PIERRAT, J.-C.; BONTEMPS, J.-D.; DHÔTE, J.-F. (2009): «Differences between tree species seedling and adult altitudinal distribution in mountain forests during the recent warm period (1986-2006)». *Ecography*, núm. 32; p. 765-777.
- LLOBET, S. (1947): *El medi i la vida al Montseny*. Reed., 1990. Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- MACIAS, M.; ANDREU, L.; BOSCH, O.; CAMARERO, J. J.; GUTIÉRREZ, E. (2006): «Increasing aridity is enhancing silver fir (*Abies alba* Mill.) water stress in its south-western distribution limit». *Clim. Change*, núm: 79; p. 289-313.
- OLIVER, J. (2003): *Tagamanent a l'edat mitjana: Senyors, pagesos i paisatge al Montseny occidental (segles x-xv)*. Tagamanent: Ajuntament de Tagamanent.
- PANAREDA, J. M.; BOCCIO, M. (2014) «La marinada, condicionant del paisatge del Montseny». *Montseny XXI*, núm 1.
- PEÑUELAS, J.; BOADA, M. (2003): «A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)». *Glob. Chang. Biol.*, núm. 9; p. 131-140.
- PEÑUELAS, J.; OGAYA, R.; HUNT, J. M.; JUMP, A. S. (2008): «Twentieth century changes of tree-ring  $\delta^{13}C$  at the southern range-edge of *Fagus sylvatica*: Increasing water-use efficiency does not avoid the growth decline induced by warming at low altitudes». *Glob. Chang. Biol.*, núm. 14; p. 1076-1088.
- R CORE DEVELOPMENT TEAM (2012): *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- RITA, Angelo; GENTILESCA, T.; RIPULLONE, F.; TODARO, L.; BORGHETTI, M. (2014): «Differential climate-growth relationships in *Abies alba* Mill. And *Fagus sylvatica* l. In mediterranean mountain forests». *Dendrochronologia*, núm. 32; p. 220-229.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; CAMARERO, J. J.; AZORÍN-MOLINA, C. (2014): «Diverse responses of forest growth to drought time-scales in the Northern Hemisphere». *Glob. Ecol. Biogeogr.*, núm. 23; p. 1019-1030.
- ZANG, Ch.; BIONDI, F. (2013): «Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis». *Dendrochronologia*, núm. 31; p. 68-74.