

# Efecte dels arbusts en la dinàmica del límit superior del bosc de pi negre en resposta a simulacions de canvis ambientals als Pirineus centrals

Oriol Grau<sup>1\*</sup>, Josep M. Ninot<sup>1</sup> & Terry V. Callaghan<sup>2, 3</sup>

.....

## ABSTRACT

### How do shrubs affect treeline dynamics under simulated environmental changes in the Central Pyrenees?

The aim of this study is to analyse the positive and negative interactions between *Pinus uncinata* and *Rhododendron ferrugineum* as controlling factors of the spatio-temporal evolution of the forest-alpine grassland ecotone under varying environmental conditions. In autumn 2006, several *Pinus uncinata* seedlings were transplanted into two plots, (at the treeline and in the forest) and in two positions (sheltered and unsheltered from *Rhododendron ferrugineum*). In spring 2007, a full factorial experiment was initiated including two more factors: increased temperature (by means of open top chambers) and increased nutrient availability (NPK fertiliser). Since then, we have been making phenological measurements to analyse the effect of simulated environmental changes.

The sheltering effect of *Rhododendron* enhanced stem growth of *Pinus* seedlings and prevented them from winter damage and dessication at the treeline and from herbivory in the forest. The increase in temperature had a marked effect after two growing seasons, and the higher nutrient availability caused changes very soon.

This study confirms that the factors analysed are crucial to understand the treeline dynamics observed in the Pyrenees. Forest structure, vegetation composition, temperature and nutrient availability help to explain the recent treeline densification observed in the area.

**Key words:** environmental change, facilitation, *Pinus uncinata*, *Rhododendron ferrugineum*, treeline, seedlings

## RESUM

L'objectiu d'aquest estudi és investigar les interaccions ecològiques entre el pi negre (*Pinus uncinata*) i el matollar d'abarset (*Rhododendron ferrugineum*) com a factors controladors de l'evolució espacio-temporal de l'ecotò bosc-prat alpi dels Pirineus.

---

1. Grup de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació (GEOVEG), Dept. de Biologia Vegetal, Univ. de Barcelona. Av. Diagonal 645, E-08028 Barcelona, Catalunya

2. Abisko Scientific Research Station, Abisko, Suècia

3. Sheffield Centre for Arctic Ecology, Dept. of Plant and Animal Sciences, Univ. of Sheffield, UK

\* grau.oriol@gmail.com

Les parcel·les d'estudi es situaren al Serrat de Capifonts (Pallars Sobirà, Catalunya). De 2006 a 2009 es va fer el seguiment de 384 plançons de pi repartits en diversos tractaments d'un disseny experimental de quatre factors: posició en l'ecotò (dins del bosc/al límit superior), arbust (presència/absència), nutrients (addició/sense addició) i temperatura (amb/sense canbres tèrmiques).

Els resultats evidencien que *Rhododendron* té un paper clau en la supervivència i desenvolupament dels plançons de *Pinus* oferint protecció en front del dany hivernal al límit superior, i de l'herbivorisme dins el bosc. Tant l'augment de temperatures com el de nutrients afavoreixen significativament el desenvolupament dels plançons. Així, tant la presència de l'arbust com els canvis ambientals afecten clarament la dinàmica poblacional de *Pinus*, i podrien explicar, junt amb altres factors com el canvi d'usos del sòl, la densificació d'arbres observada recentment al límit supraforestal del Pirineu català.

**Mots clau:** canvis ambientals, facilitació, límit forestal, *Pinus uncinata*, plançons, *Rhododendron ferrugineum*

## Introducció

El límit superior del bosc subalpí és l'ecotò més notable a les muntanyes alpines, tot i la irregularitat del seu relleu i les modificacions del paisatge degudes a l'explotació humana. Als Pirineus centrals, aquest límit altitudinal és una estreta zona de transició en la qual es passa del bosc subalpí als claps dispersos d'aquest bosc alternant amb matollars subarbusius, a la barreja d'aquests matollars amb prat alpí, i finalment al mosaic de prats alpins (Ninot et al. 2007). En el mateix sentit, el pi negre (*Pinus uncinata*), l'arbre subalpí per excel·lència, passa del port arbori típic (sovint esvelt i clarament monopòdic) al d'arbre regruat (que defineix la *treeline*, o límit de l'arbre), i finalment al de pinetó, aparentment juvenil, encara que sovint prou longeu (Batllori et al. 2009).

En la dinàmica de la vegetació del límit supraforestal hi intervenen complexos processos de colonització, i de competència i facilitació entre plantes funcionalment diferents. Els canvis climàtics, i principalment l'augment de temperatures, tenen una important incidència en tots aquests processos, tant directament sobre el desenvolupament vegetal, com sobre el balanç edàfic d'aigua i nutrients (Holtmeier & Broll 2005). Com que, a més, hi ha evidències que en temps pretèrits més càlids el límit del bosc vora la zona d'estudi es trobava a més altitud (Cunill 2010), cal preveure que l'augment de temperatures afavoreixi l'ascens del límit del bosc.

Tot i això, i a més tenint en compte l'important descens de l'explotació tradicional forestal i ramadera, als Pirineus no es detecta un ascens generalitzat del límit forestal les darreres dècades. Sí que es dona en localitats concretes, i sobretot allà on el límit del bosc havia estat abaixat per l'home. Però en altres casos s'observa més aviat una densificació d'arbres i de formes juvenils per sota del límit supraforestal, sense que aquest s'hagi desplaçat sensiblement durant les darreres dècades (Batllori & Gutiérrez 2008).

Per altra banda, recentment s'ha documentat un increment en la densitat i productivitat de les comunitats subarbustives en algunes zones àrtiques i alpines, com a resposta al notable augment de temperatures de les últimes dècades detectat en aquestes àrees (Chapin *et al.* 1995, Tape *et al.* 2006). Cal tenir en compte que els plançons d'arbres forestals subalpins solen progressar més a redós de subarbusts o d'altres elements protectors, que exerceixen un clar efecte facilitador en front de factors d'estrès abiòtic o d'herbivorisme (Smith *et al.* 2003, Batllori *et al.* 2009).

Per tot això, es preveu que els canvis ambientals i d'ús del sòl influeixin en el funcionament i en la posició del límit supraforestal, però no pas directament, sinó modelats per processos de facilitació i de competència existents entre la comunitat forestal i l'arbustiva que afecten la germinació i l'establiment de plançons de *Pinus uncinata*. Partim de la hipòtesi que aquestes interaccions poden canviar de positives a negatives en funció de l'estrès abiòtic i biòtic present al llarg de l'ecotò bosc-prats alpins .

En aquest estudi ens proposem investigar les interaccions ecològiques entre plançons de pi negre (*Pinus uncinata*) i matolls d'abarset (*Rhododendron ferrugineum*) a través d'una experiència en què intervenen diferents factors binaris. El seguiment detallat dels plançons al llarg de tres anys ha de permetre evidenciar com aquests factors poden controlar l'evolució espacio-temporal de l'ecotò bosc-prat alpi dels Pirineus.

## Material i mètodes

Es van establir unes parcel·les d'estudi al Serrat de Capifonts (Pallars Sobirà, Catalunya), localitat representativa d'un ecotò en situació poc antropitzada. El límit del bosc s'hi situa a uns 2.400 m d'altitud, en un vessant esquistós regular, on el període vegetatiu es pot estimar en uns 170 dies, i la temperatura mitjana del mes més càlid, el juliol, és d'11 °C. El bosc subalpí és una forma típica del *Rhododendro-Pinetum uncinatae*, el prat alpi correspon al *Hieracio-Festucetum supinae*, i els matollars que clapegen l'ecotò pertanyen a elements poc estructurats del mateix *Rhododendro-Pinetum* i al *Cetrario-Loiseleurietum procumbentis*.

Varem establir un total de 64 petites parcel·les de seguiment (de vora 1,3 m<sup>2</sup> cadascuna), corresponents a una experiència factorial de quatre factors binaris (16 combinacions), amb quatre rèpliques per a cada combinació. Els factors es van establir simulant diferents situacions ambientals , concretament:

- a) situació respecte de l'ecotò (la meitat dins del bosc, i l'altra meitat al mosaic obert)
- b) temperatura (protegides per cambres de metacrilat —*open top chambers*, OTC— del tipus ITEX, que incrementen la temperatura estival a ran del sòl entre 1 i 2 °C, o a l'aire lliure).

- c) situació respecte de mates de *Rhododendron ferrugineum* (a redós, o bé allunyades)
- d) fertilització (amb addició d'un compost d'NPK, o sense).

A cada petita parcel·la, l'estiu de 2006 varem trasplantar-hi 6 plançons de *Pinus uncinata* provinents de viver, de tres anys de vida i procurant seleccionar-los d'un interval de mides regular. Des de llavors i fins a 2009 hem avaluat cada estiu la supervivència, la longitud de tiges i fullatge, el grau de ramificació, i els efectes d'herbivorisme o de danys per fred hivernal en tots els plançons (en total, 384).

En l'anàlisi de les dades, hem considerat cada petita parcel·la (grup de sis plançons) com una mostra, i els quatre factors binaris com a factors independents. Les respostes de cada mostra les hem analitzat emprant models linears mixtos.

## Resultats i discussió

La supervivència dels plançons ha estat molt elevada al llarg de l'experiència, però molts plançons situats sobre del bosc i allunyats de *Rhododendron* varen veure's greument afectats durant el primer hivern, que va ser especialment dur. La manca de neu va propiciar greus efectes de dessecació hivernal a un 55 % dels plançons (Ninot *et al.* 2008).

La taula 1 resumeix els efectes que mostren diferències significatives lligades a les diferents condicions que els plançons han trobat a les parcel·les. Entre les variables mesurades, l'alçada de la tija dels plançons resulta força indicadora

**TAULA 1.** Resum dels principals efectes observats en els plançons de *Pinus uncinata* segons els factors considerats i durant els tres anys de mostreig. A cada casella s'indiquen els efectes que diferencien significativament els plançons sota un tractament, respecte dels que tenen el tractament oposat; les caselles buides indiquen que no hi ha hagut diferències significatives.

	2007	2008	2009
Sota <i>Rhododendron ferrugineum</i>	↓ dany hivernal (fora del bosc)	↓ ramificació ↓ herbivorisme per <i>Tetrao urogallus</i> (exclusivament al bosc)	↑ creixement proporcional de la tija ↑ fullatge
Dins del bosc	↑ alçada general sense dany hivernal	↓ ramificació	
Fertilització	↑ alçada general (menys evident amb <i>Rhododendron ferrugineum</i> )	↑ ramificació	efectes anteriors poc evidents
Dins de cambra OTC	sense efectes visibles		↑ creixement proporcional de la tija

de les diferents situacions experimentals. En concret, ha mostrat increments clarament superiors en les situacions a tocar de *Rhododendron*, en les diferents condicions experimentades, i també ha respost positivament a l'addició de nutrients i a l'increment de temperatura (fig. 1).

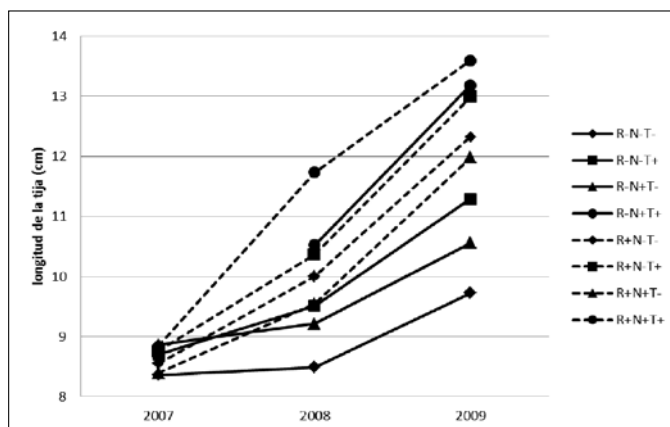


FIGURA 1. Variació mitjana de la longitud de la tija dels plançons de *Pinus uncinata* durant el període d'experimentació al límit supraforestal. Les abreviatures fan referència a tres dels factors estudiats, concretament a la proximitat de *Rhododendron* (R), a l'addició de fertilitzant (N) i al sobreescalfament amb *open top chambers* (T); els símbols + i - signifiquen l'aplicació del tractament o no, respectivament.

Els plançons situats a redós de *Rhododendron* van evidenciar un efecte facilitador molt marcat per part d'aquest arbust, a través de millor estructura funcional i de més protecció en front a herbivorisme i a danys hivernals. Aquest efecte pot ajudar a explicar la densificació d'arbres joves observada al límit forestal, a través de més reclutament i de millor creixement dels pinets en presència d'arbusts. Les interaccions positives de *Rhododendron* envers els pinets són generals tant per sobre del límit forestal com dins del bosc, tot i que la facilitació per sobre el bosc es més evident i generalitzable a escala regional, i on l'estrès abiòtic és més notable.

Els efectes de la temperatura van ser notables en els plançons després d'estar dos períodes vegetatius dins de les cambres OTC. Al contrari, la fertilització es va notar ja al primer any, però els seus efectes van durar poc ja que no es va tornar a aplicar el fertilitzant, de manera que els plançons fertilitzats aviat van deixar de diferenciar-se.

En general, doncs, els canvis ambientals simulats i les interaccions entre les mates de *Rhododendron ferrugineum* i els plançons de *Pinus uncinata* es manifesten com a importants factors claus en la regulació de la dinàmica de l'ecotò que separa el bosc subalpí de les pastures alpines als Pirineus, fins i tot en un període força curt. Esperem que el seguiment durant un període més llarg, i altres variables encara en estudi, com són la concentració foliar d'isòtops estables del carboni i del nitrogen, permetran perfilar millor el paper de les interaccions estudiades en la dinàmica de la *treerline*.

## Conclusions

Aquest estudi confirma el paper facilitador dels arbusts en la densificació d'individus juvenils d'arbres forestals al límit superior del bosc als Pirineus. La facilitació de *Rhododendron ferrugineum* vers els plançons de *Pinus uncinata* és general a tot l'ecotò estudiat, amb poca diferenciació entre els ecosistemes forestal i alpí, tot i que els processos concrets que s'hi donen són diferents.

Els canvis ambientals analitzats produeixen efectes significatius en el desenvolupament dels plançons forestals. Per això, esdevenen importants factors reguladors de la dinàmica del límit forestal.

## Bibliografia

- BATLLORI, E., CAMARERO, J.J., NINOT, J.M. & GUTIÉRREZ, E. 2009. Seedling recruitment, survival and facilitation in alpine *Pinus uncinata* tree line ecotones: implications and potential responses to climatic warming. *Global Ecol. Biogeogr.* 18: 460-472.
- BATLLORI, E. & GUTIÉRREZ, E. 2008. Regional treeline dynamics in response to global change in the Pyrenees. *J. Ecol.* 96: 1275-1288.
- CHAPIN III, F.S., SHAVER, G.R., GIBLIN, A.E., NADELHOFFER, K.J. & LAUNDRE, J.A. 1995. Responses of arctic tundra to experimental and observed changes in climate. *Ecology* 76(3): 694-711.
- CUNILL, R. 2010. *Estudi interdisciplinari de l'evolució del límit superior del bosc Durant el període holocènic a la zona de Plaús de Boldís-Montarenyo, Pirineu central català*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- HOLTMEIER, F.-K. & BROLL, G. 2005. Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecol. Biogeogr.* 14: 395-410.
- NINOT, J.M., CARRILLO, E., FONT, X., CARRERAS, J., FERRÉ, A., MASALLES, R.M., SORIANO, I. & VIGO, J. 2007. Altitude zonation in the Pyrenees. A geobotanic interpretation. *Phytocoenologia* 37: 371-398.
- NINOT, J.M., GRAU, O., BATLLORI, E., CAMARERO, J.J. & CARRILLO, E. 2008. Winter drought impairs pine regeneration at the Pyrenean treeline. In: SÁNCHEZ, J. M. (ed.), *Droughts: Causes, Effects and Predictions*: 11-18. Nova Science Publishers.
- SMITH, W.K., GERMINO, M.J., HANCOCK, T.E., & JOHNSON, D.M. 2003. Another perspective on altitudinal limits of alpine timberlines. *Tree Physiol.* 23: 1101-1112.
- TAPE, K., STURM, M. & RACINE, C. 2006. The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biol.* 12: 686-702.