

Acción E7. Artículos técnico - divulgativos

Junio 2022

Realización: CTFC
Colaboración: APMC, CPF, APFSBE
Contacto: info@mixforchange.eu



Summary in English

This deliverable shows the list and content of the 10 technical – dissemination articles produced during LIFE MixForChange. These articles are addressed to technical audiences including forest owners and practitioners.

1. Introducción

El objetivo de la acción E7 es proyectar a la comunidad técnica regional, nacional e internacional las técnicas, metodologías y resultados del desarrollo de las acciones del proyecto, mediante la publicación de una serie de artículos técnico-científicos en publicaciones relevantes.

2. Lista de artículos técnico - divulgativos

La Tabla 1 muestra la lista de 10 artículos técnico – divulgativos publicados durante el proyecto, mostrados íntegros en los anexos indicados. Las publicaciones seleccionadas se han priorizado por su alcance, relevancia en el sector forestal y acceso gratuito. No se incluye en esta lista las comunicaciones realizadas en medios especializados, mostrados en el entregable de la Acción E6 (Comunicación y difusión a medios de comunicación). El objetivo inicial era 4 artículos, por lo que la acción se considera completada con gran éxito.

Tabla 1. Artículos técnico-divulgativos publicados durante el proyecto

Editor	Cita completa	Enlace original	Anexo
Consorti Forestal de Catalunya	Piqué M. 2018. Els boscos mixtos – oportunitat per a l’adaptació al canvi climàtic i foment de la bioeconomia: projecte LIFE MIXFORCHANGE. Catalunya Forestal 135:20-21	Enlace	1
Centre de la Propietat Forestal	Coello J, Piqué M, Beltrán M. 2018. El projecte LIFE MixForChange. Gestió Forestal per a l’adaptació al canvi climàtic i el foment de la bioeconomia del bosc mediterrani subhumit català. Silvicultura 77:19-21	Enlace	2
Diputació de Barcelona	Guitart L, Coello J, Piqué M. 2021. Silvicultura per a l’adaptació al canvi climàtic dels boscos mixtos mediterranis subhumits del Montnegre i el Corredor: avaluació tècnica i econòmica. En: Diputació de Barcelona. Libro de actas de la IV Trobada d’Estudiosos de la Serralada Litoral Central i VIII del Montnegre i el Corredor: 42-53	Enlace	3
Consorti Forestal de Catalunya y CTFC	Coello J, Piqué M, Beltrán M, Guitart L, Palero N, Vigué J, Rovira J. 2021. Resultados de la aplicación en el Mediterráneo subhúmedo catalán de una silvicultura adaptativa con criterios de árbol individual y de silvicultura naturalística. En: Tusell JM, Beltrán M. (Coords.). 2019. XXXVI Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera. Consorci Forestal de Catalunya. Santa Coloma de Farners. 74-85	Enlace	4
Centre de la Propietat Forestal	Baiges T, Palero N, Coello J, Beltrán M. 2021. Identificació d'arbres d'alt valor a bosc i dels seus competidors. Silvicultura 84 – Fitxa pràctica. 4 pp.	Enlace	5
Diputació de Barcelona	Coello J, Collado E, Beltrán M, Rovira J, Palero P, Piqué M. 2021. Silvicultura adaptativa al canvi climàtic per a la gestió multifuncional de boscos mixtos al Montseny (LIFE MixForChange). En: Diputació de Barcelona. Libro de actas de la X Trobada Estudiosos Montseny 2021	(no disponible aún)	6
Sociedad Española de Ciencias Forestales	Collado E, Coello J, Beltrán M, Moura de Abreu L, Guitart L, Palero N, Vigué J, Rovira J, Piqué M. 2022. Gestión adaptativa en bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola. 8º Congreso Forestal Español, Lleida.	Enlace	7
Sociedad Española de Ciencias Forestales	Guitart L, Rosell M, Coello J, Piqué M, Palero N, Vigué J. 2022. Evaluación económica de la silvicultura adaptativa al cambio climático en bosques mediterráneos subhúmedos catalanes. 8º Congreso Forestal Español, Lleida	Enlace	8
Sociedad Española de Ciencias Forestales	Coello J, Collado E, Beltrán M, Moura L, Guitart L, Baiges T, Garcia Q, Vigué J, Rovira J, Piqué M. Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor y su aplicación en silvicultura adaptativa con criterios de árbol individual. 8º Congreso Forestal Español, Lleida.	Enlace	9
Sociedad Española de Ciencias Forestales	Guitart L, Pagès J, Solanes X. Desarrollo de un sistema piloto de logística y comercialización de productos forestales de los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos. 8º Congreso Forestal Español, Lleida.	Enlace	10



Anexo 1. Artículo “Els boscos mixtos – oportunitat per a l’adaptació al canvi climàtic i foment de la bioeconomia: projecte LIFE MIXFORCHANGE”

Els boscos mixtos

Oportunitat per a l'adaptació al canvi climàtic i foment de la bioeconomia: projecte LIFE MIXFORCHANGE



Míriam Piqué

Cap del Programa
de Gestió Forestal
Multifuncional

Centre de Ciència i
Tecnologia Forestal
de Catalunya
(CTFC)

Els boscos mixtos a Catalunya ocupen més de 535.000 ha (40% de la superfície total de boscos), aquest fet, tot i que molts d'ells són incipientment mixtos, representa una oportunitat per avançar cap a un major grau de diversitat del bosc i millora de la seva adaptació al CC. És àmpliament conegut que boscos més complexos i biodiversos són més resilents, doncs presenten diferents mecanismes de recuperació o resistència a les

pertorbacions (sequeres, plagues, malalties, incendis, ventades, etc.).

La gestió per a l'adaptació al canvi climàtic del bosc mediterrani es basa, fonamentalment, en la reducció de la competència, l'augment de la complexitat, foment de l'adaptació genètica i reducció de la vulnerabilitat als incendis forestals. La reducció de la competència i l'augment de la complexitat són mesures de clara aplicació a escala de rodal. La reducció de la competència afavoreix una major resistència a episodis d'estrès hídric i una major capacitat de reproducció sexual. La complexitat, entesa com diversitat a escala de rodal d'espècies (masses mixtes) i d'estructures en dimensió vertical (estrats) i horitzontal (mosaic) genera, d'entrada, un sistema forestal més resilient i resistent a les pertorbacions.

En el marc del projecte Life MixForChange s'implementen models de gestió per promoure la vitalitat, complexitat i diversitat dels boscos Mediterranis Subhumits Mixtos, incorporant criteris de "silvicultura d'arbre individual" (tree-oriented silviculture), que consisteix en centrar els esforços de gestió en els peus més vitals i de major valor futur (econòmic, ambiental, etc.), i deixar la resta d'arbres del bosc amb una gestió mínima, el que redueix notablement els costos de gestió i incrementa la proporció futura de fusta de qualitat.

Aquests models de gestió es caracteritzen per la realització de:

- Tallades de selecció amb reserva de peus vitals llavorers, amb bon fenotip, de varies espècies forestals i, especialment, de planifolis minoritaris, però amb alt valor productiu i ecològic.
- Obertures de diferents dimensions, adequades a l'ecologia de les espècies, per a potenciar la regeneració a l'espera i promoure la diversitat d'espècies a escala de rodal.
- Alliberació de peus joves de planifolis, mitjançant aclarides selectives.
- Promoció d'indicadors de biodiversitat (fusta morta, arbres microhàbitat, etc.)



Objectius del projecte LIFE MixForChange

El projecte té com a objectiu principal contribuir a l'adaptació i augment de resiliència del bosc Mediterrani Subhumit Mixt davant el canvi climàtic, afavorint la seva conservació i el manteniment de les seves funcions productives, ambientals i socials.

Les principals tipologies forestals en les que es centra el projecte són masses mixtes dominades per alzina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), altres quercínies (*Quercus pubescens*, *Q. canariensis*, *Q. petraea*), castanyer

(*Castanea sativa*) i pins (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*). Entre les espècies acompanyants, que puntualment poden ser dominants, hi destaquen els planifolis amb potencial per produir fusta d'elevada qualitat: cirerer, freixe, blada, servera, moixera de pastor i perera, entre d'altres.

Els objectius específics del projecte són:

- a) Desenvolupar i implementar nous models de gestió forestal en 164 ha de rodals pilot demostratius, representatius del bosc Mediterrani Subhumit Mixt a Catalunya. Aquests models han de permetre, per una banda, fomentar l'adaptació al canvi climàtic d'aquests boscos i per l'altra, incrementar la qualitat i el valor afegit dels productes forestals.
- b) Desenvolupar eines per integrar l'adaptació al canvi climàtic del bosc en la política i marc normatiu que afecten a la gestió d'aquests boscos, tant a nivell municipal com de Catalunya.
- c) Desenvolupar eines per enfortir l'economia lligada als productes del bosc Mediterrani Subhumit Mixt, que permetin augmentar la sostenibilitat econòmica de la gestió a mig i llarg termini. Per exemple, protocols per a la caracterització de fusta en peu, catàlegs de productes d'alt valor afegit, etc.
- d) Transferir les tècniques implementades i eines desenvolupades als principals actors a nivell català, estatal i europeu, a través de publicacions tècniques, activitats formatives, jornades i conferències.



Aquest projecte té una durada de 5 anys (2016-2021) i hi participen el Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC), coordinador del projecte, el Centre de la Propietat Forestal (CPF) i les Associacions de Propietaris Forestals del Montnegre i Corredor (APMC) i Serra de Bellmunt-Collsacabra (APFSBE).

Per a més informació: <http://www.mixforchange.eu/ca/>

El projecte LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) és un projecte finançat pel programa LIFE, línia Adaptació al Canvi Climàtic.

No corris riscos

Assegura el futur del teu bosc

Blat
Corredoria d'Assegurances i Reassegurances, S.L.

1
↓

Incendi

2
↓

Llamp

3
↓

Explosió

4
↓

Caiguda d'Aeronaus

5
↓

Vent

6
↓

Neu

Demaneu pressupost Truqueu-nos: +34 93 414 30 05 blat@blatseguros.com



Anexo 2. Artículo “El projecte LIFE MixForChange. Gestió Forestal per a l’adaptació al canvi climàtic i el foment de la bioeconomia del bosc mediterrani subhumit català”

El projecte LIFE MixForChange

Gestió forestal per a l'adaptació al canvi climàtic i el foment de la bioeconomia del bosc mediterrani subhumit català

En aquest projecte, amb una durada de 5 anys (octubre 2016—setembre 2021), hi participen el Consorci Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC), coordinador del projecte, el Centre de la Propietat Forestal (CPF) i les Associacions de Propietaris Forestals del Montnegre i Corredor (APMC) i Serra de Bellmunt-Collsacabra (APFSBE).

El bosc mediterrani subhumit

El bosc mediterrani subhumit és un ecosistema de gran singularitat i importància a escala europea. El mediterrani subhumit és un clima relativament suau i amb una elevada precipitació. Aquestes condicions favorables donen lloc a una gran diversitat d'espècies pròpies tant del domini mediterrani com del continental, barrejades íntimament i amb un predomini dels planifolis. A Catalunya, aquestes condicions es troben principalment a serralades del quadrant nord-est: altituds intermèdies (predominantment entre 300-800 m) del Prepirineu oriental i massissos del Montseny i del Montnegre i el Corredor. La Figura 1 mostra l'àrea amb aquest tipus de clima a Europa i a Catalunya. Les principals tipologies forestals en aquestes condicions

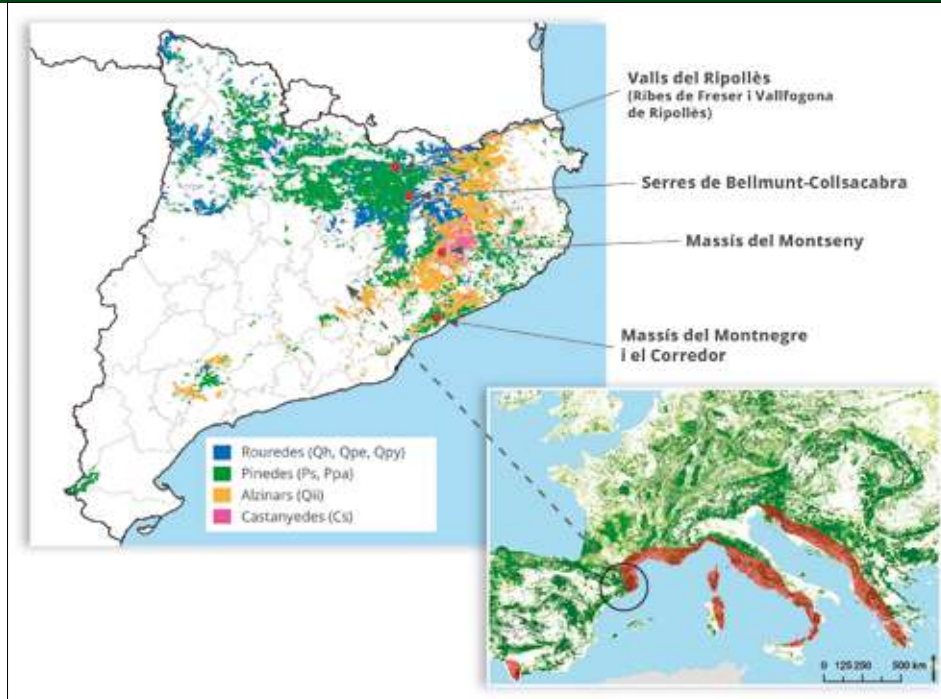


Figura 1. Tipus de boscos i àrees de treball del Projecte MixForChange i àrees amb bosc mediterrani subhumit a Europa.

són masses mixtes dominades per alzina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), altres quercínies (*Quercus pubescens*, *Q. canariensis*, *Q. petraea*, *Q. suber*), castanyer (*Castanea sativa*) i diversos pins (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*, *P. pinaster*). Entre les espècies acompanyants, que puntualment poden ser dominants, hi destaquen els planifolis amb potencial per produir fusta d'elevada qualitat:

El projecte es du a terme en 164 ha d'alzinar, roureda, castanyeda i pineda, en 4 àmbits: Montseny, Montnegre-Corredor, Bellmunt-Collsacabra i valls del Ripollès.

cirerer, freixe, blada, servera, moixera de pastor i perera, entre d'altres.

El canvi climàtic i el bosc mediterrani subhumit

Durant les properes dècades s'espera que continuï l'increment de temperatures, que a la Mediterrània vindrà acompanyat d'una reducció de la precipitació (especialment, de l'estival) i d'un increment de la freqüència i intensitat dels fenòmens extrems: onades de calor, sequeres intenses i tempestes. Els efectes previstos sobre el bosc mediterrani subhumit es poden veure agreujats per les seves peculiaritats:



Rodal mixte objecte del projecte, al Ripollès. Autor: AGS-CTFC.



Roureda aclarida. Autor: AGS-CTFC.



Pineda mixta amb planifolis. Autor: AGS-CTFC.



Massa mixta de pi i roure. Autora: Teresa Baiges.

- **Vulnerabilitat intrínseca.** Les espècies forestals presents estan poc adaptades a les sequeres intenses.
- **Abundància de boscos abandonats** (sense gestió) amb una densitat excessiva i una estructura simplificada a nivell d'espècies i d'estructures. Aquest abandonament es veu agreujat per la baixa sostenibilitat econòmica de la gestió actual, la qual es basa en una cadena de valor curta i de baix valor afegit (llenyes i fusta de baixa qualitat).
- **Són boscos localitzats en l'entorn d'àrees molt poblades, amb una gran dependència de les externalitats d'aquests boscos:** regulació hidrològica, control d'erosió, paisatge i oci.
- **Importància dels valors naturals i de la biodiversitat:** gran part d'aquestes àrees estan incloses dins la Xarxa Natura 2000 i d'altres figures de protecció.
- **Manca de consciència sobre l'interès de la integració de la gestió forestal i l'adaptació al canvi climàtic en polítiques locals i regionals.**

Durant l'hivern 2017 i la primavera 2018 es duen a terme les intervencions silvícoles demostratives, l'efecte de les quals serà avaluat al llarg del projecte.

El paper de la gestió forestal davant aquesta problemàtica: l'origen del projecte MixForChange

La gestió forestal pot contribuir notablement a mitigar aquesta problemàtica, en afavorir la capacitat d'adaptació de les masses al canvi climàtic i fomentar-ne la sostenibilitat econòmica i ambiental.

Els models de gestió forestal per adaptar les masses al canvi climàtic busquen afavorir la complexitat i vitalitat d'aquestes.

La gestió forestal per a l'adaptació al canvi climàtic del bosc mediterrani es basa principalment en la reducció de la competència (aclarides), en l'augment de la complexitat (diversitat d'espècies i d'estructures) i en la reducció de la vulnerabilitat a incendis forestals. L'increment de la sostenibilitat econòmica i ambiental s'aconsegueix mitjançant models de gestió forestal que aprofitin els processos naturals (ombratge lateral i microclima avançats gràcies al manteniment d'espècies acompanyants) favorables a la producció de fusta de qualitat en un nombre limitat d'arbres seleccionats pel seu vigor i conformació. Entre aquests models destaquen la silvicultura propera a la natura o orientada a l'arbre i el bosc mitjà irregular, és a dir, promoure estructures heterogènies multiestratificades

i amb arbres originats tant de rebrot com de llavor.

Aquesta problemàtica i aquest potencial van ser els detonants perquè un consorci de quatre entitats (CTFC, CPF, APMC, APFSBE) sol·licitessin finançament a la convocatòria europea LIFE, dins la línia sobre Canvi Climàtic per implementar un projecte demostratiu en aquest àmbit.

Objectius del projecte LIFE MixForChange

El projecte té com a objectiu principal contribuir a l'adaptació i a una més gran resiliència del bosc mediterrani subhumit mixt davant el canvi climàtic, afavorint-ne la conservació i el manteniment de les seves funcions productives, ambientals i socials.

Els objectius específics del projecte són els següents:

- Desenvolupar i implementar nous models de gestió forestal en 164 ha de rodals pilot demostratius, representatius del bosc mediterrani subhumit a Catalunya. Aquests models han de permetre, per una banda, fomentar l'adaptació al canvi climàtic d'aquests boscos (reducció de la competència, augment de la vitalitat, la complexitat, la biodiversitat i l'eficiència en l'ús de l'aigua) i, per l'altra, incrementar la qualitat i el valor afegit dels productes forestals.
- Desenvolupar noves eines per integrar l'adaptació al canvi climàtic del bosc mediterrani subhumit en la política i el marc normatiu que afecten la gestió, tant a escala municipal com de tot Catalunya.
- Desenvolupar noves eines per enfortir l'economia lligada als productes del bosc mediterrani subhumit, que permetin augmentar la sostenibilitat econòmica de la gestió a mig i llarg termini. Entre aquestes eines destaquen els protocols per a la caracterització de fusta en peu, catàlegs de productes d'alt valor afegit que es poden generar en aquests boscos i la implantació d'un sistema pilot de logística i comercialització.
- Transferir les tècniques implementades i eines desenvolupades als principals actors a nivell català, estatal i europeu, a través de la pàgina web del projecte, publicacions tècniques (articles i guies), activitats formatives, jornades, conferències, butlletí periòdic, etc.

Soci coordinador:

Consorti Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC)
Ctra. vella Sant Llorenç de Morunys, km 2.
25280 Solsona
Telèfon: 973 481 752

El projecte LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) és un projecte finançat pel programa LIFE, amb la línia Adaptació al Canvi Climàtic.



Per a més informació:

<http://www.mixforchange.eu/ca/>
info@mixforchange.eu



Jaime Coello¹



Míriam Piqué¹



Mario Beltrán¹

(1) Grup de Gestió Forestal Sostenible (AGS)
Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC)



Anexo 3. Artículo “Silvicultura per a l’adaptació al canvi climàtic dels boscos mixtos mediterranis subhumits del Montnegre i el Corredor: avaluació tècnica i econòmica”

Silvicultura per a l'adaptació al canvi climàtic dels boscos mixtos mediterranis subhumits del Montnegre i el Corredor: avaluació tècnica i econòmica

LÍDIA GUITART XARPELL¹, JAIME COELLO i MÍRIAM PIQUÉ²

¹Associació de Propietaris del Montnegre i el Corredor

²Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya

Resum

El projecte LIFE MixForChange té com a objectiu millorar l'adaptació al canvi climàtic dels boscos mixtos mediterranis subhumits a través d'una gestió forestal innovadora (GFI). Aquest treball presenta els objectius de les intervencions i els resultats tècnics i econòmics obtinguts amb l'aplicació de la GFI a 25 rodals (77 ha en total) al Montnegre i el Corredor, en masses dominades per alzina, castanyer, roure i pi pinyer. S'han comparat els trets dasomètrics abans i després de les actuacions i s'han avaluat econòmicament els tractaments en comparació amb l'aplicació d'una gestió forestal tradicional (GFT). Es conclou que la GFI millora els indicadors d'adaptació al canvi climàtic sense un augment dels costos de gestió, i alhora s'espera un increment potencial dels productes fustaners d'alt valor a llarg termini.

Paraules clau

Canvi climàtic, masses mixtes, gestió d'arbre individual, frondoses d'alt valor

Resumen

Silvicultura para la adaptación al cambio climático de los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de El Montnegre i el Corredor: evaluación técnica y económica

El proyecto LIFE MixForChange tiene como objetivo mejorar la adaptación al cambio climático de los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos a través de una gestión forestal innovadora (GFI). Este trabajo presenta los objetivos de las intervenciones y los resultados técnicos y económicos obtenidos con la aplicación de GFI en 25 rodales (77 ha) en El Montnegre i el Corredor, en masas dominadas por encina, castaño, roble y pino piñonero. Se han comparado los datos dasométricos antes y después de las actuaciones y se han evaluado económicamente los tratamientos en comparación con la aplicación de una gestión forestal tradicional (GFT). Se concluye que la GFI mejora los indicadores de adaptación al cambio climático sin un aumento de los costes de gestión, a la vez que se espera un incremento de los productos madereros de alto valor a largo plazo.

Palabras clave

Cambio climático, masas mixtas, gestión de árbol individual, frondosas de alto valor

Abstract

Forestry for Adaptation to Climate Change in the Mixed Sub-humid Mediterranean Forests of El Montnegre i el Corredor: Technical and Economic Evaluation

The LIFE MixForChange project seeks to improve adaptation to climate change in mixed sub-humid Mediterranean forests through innovative forest management (IFM). This paper presents the objectives of the interventions and the technical and economic results obtained by using IFM in 25 stands (77 ha) in El Montnegre i el Corredor dominated by holm oak, chestnut, oak and stone pine. Dasometric data were compared for before and after the actions and the treatments were assessed in economic terms in comparison with using traditional forest management (TFM). It is concluded that IFM improves climate change adaptation indicators without increasing management costs, while a rise in high-value timber products is expected in the long term.

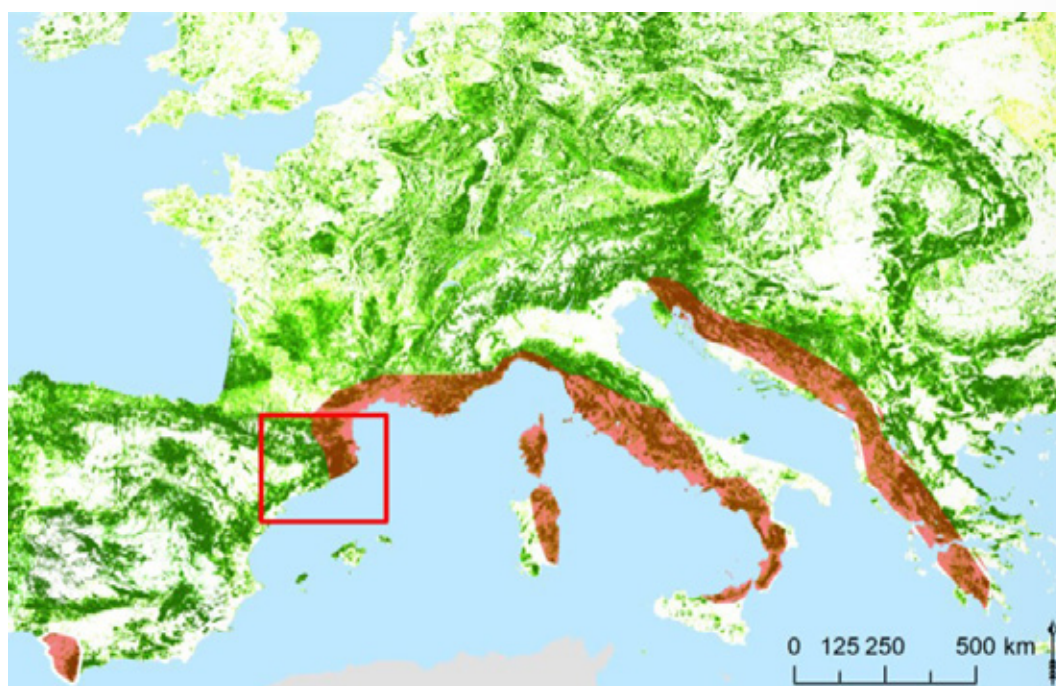
Keywords

Climate change, mixed stands, individual tree management, high-value broadleaves

Introducció

Els boscos mixtos mediterranis subhumits (BMSH) són un ecosistema de gran singularitat i importància. Les condicions climàtiques en les quals es troben es caracteritzen per unes temperatures suaus i unes precipitacions relativament elevades i es localitzen a les zones de muntanya litorals i prelitorals des del NE de la península Ibèrica fins al SE de la costa adriàtica dels Balcans (figura 1). Es tracta de boscos amb una forta presència de planifolis.

Figura 1. Distribució dels boscos mediterranis subhumits



A Catalunya aquest tipus de bosc ocupa unes 485.000 ha, moltes de les quals presenten les problemàtiques següents:

- Alta vulnerabilitat a la sequera, els incendis forestals i altres pertorbacions.
- Densitat excessiva, baixa estabilitat i vitalitat: es tracta de boscos sovint simplificats tant en composició específica com en estructura i amb manca de gestió forestal.
- Baixa rendibilitat econòmica: gestió centrada en productes de baix valor afegit.

A més, molts d'aquests boscos es troben situats en zones periurbanes les quals, a més de suposar un increment del risc d'incendis forestals, presenten unes fortes pressions socials (freqüentació) i demandes (aigua, paisatge, biodiversitat, etc.).

D'altra banda, aquests boscos mixtos (amb barreja de diferents espècies forestals) o incipientment mixtos, representen una oportunitat per avançar cap a un grau més alt de diversitat del bosc i d'adaptació als impactes del canvi climàtic.

Les previsions climàtiques per a les properes dècades pronostiquen un increment de les temperatures i també de la freqüència i la intensitat d'episodis de sequera i tempestes. En aquest context, les problemàtiques esmentades dels BMSH es poden veure agreujades, amb un fort impacte sobre els seus valors i funcions. A fi de facilitar l'adaptació al canvi climàtic d'aquestes masses cal generar estructures que permetin augmentar la resistència (menys vulnerabilitat) i la resiliència (capacitat de recuperació espontània) a les pertorbacions. Els principis generals de la silvicultura d'adaptació al canvi climàtic són el foment de la vitalitat, la complexitat estructural i la diversitat d'espècies, tot promovent estructures que permetin mantenir un microclima forestal humit. Aquest enfocament permet, a més, incrementar la biodiversitat i obtenir una varietat més gran de productes del bosc, molts dels quals poden tenir un alt valor afegit, com ara els planifolis d'alt valor.

El projecte LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) pretén fomentar l'adaptació dels boscos mediterranis subhumits al canvi climàtic promovent-ne la conservació i mantenint-ne les funcions productives, ambientals i socials. Es tracta d'un projecte de cinc anys (2016-2021) integrat per quatre socis: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (coordinador), Centre de la Propietat Forestal, Associació de Propietaris del Montnegre i el Corredor i Associació de Propietaris Serra de Bellmunt-Collsacabra.

El projecte té els objectius específics següents:

- Desenvolupar, implementar i demostrar noves tècniques de gestió forestal (GFI) a 164 ha.
- Desenvolupar noves eines per integrar l'adaptació al canvi climàtic en la política i en el marc normatiu que afecta la gestió forestal.
- Desenvolupar eines per enfortir la bioeconomia forestal, que permetin augmentar la sostenibilitat econòmica a mitjà i llarg termini de la gestió forestal per a l'adaptació al canvi climàtic i revertir l'abandonament.
- Transferir i disseminar les tècniques implementades i els resultats obtinguts.

Aquest treball descriu i presenta els primers resultats tècnics i econòmics obtinguts de la implementació de la GFI al Montnegre i el Corredor en masses dominades per l'alzina, el castanyer, el roure i el pi pinyer.

La gestió forestal innovadora (GFI)

La GFI desenvolupada en el marc del projecte LIFE MixForChange s'ha implementat en formacions forestals mixtes dominades per l'alzina, el castanyer, el roure i el pi (pi roig i pi pinyer) distribuïdes en quatre àmbits geogràfics: massís del Montnegre i el Corredor, massís del Montseny, serra de Bellmunt-Collsacabra i valls del Ripollès.

La GFI es basa en la reducció de la competència i l'estrès hídric, l'augment de la complexitat del bosc (tant pel que fa a les espècies com a les estructures), la conservació de

la biodiversitat i la promoció del valor productiu dels boscos diversificant-ne productes i promovent aquells de més alt valor afegit. Aquesta gestió permet mantenir les importants funcions ambientals, sobretot a les zones altament poblades i urbanitzades.

La GFI pren els principis *continuous cover system* (coberta forestal contínua) i *close-to-nature silviculture* (silvicultura propera a la natura) amb què es promouen les estructures multiestratificades i l'augment de la presència de planifolis esporàdics (p. ex., cirerer, server, moixera de pastor, freixe, aurons, blada, etc.).

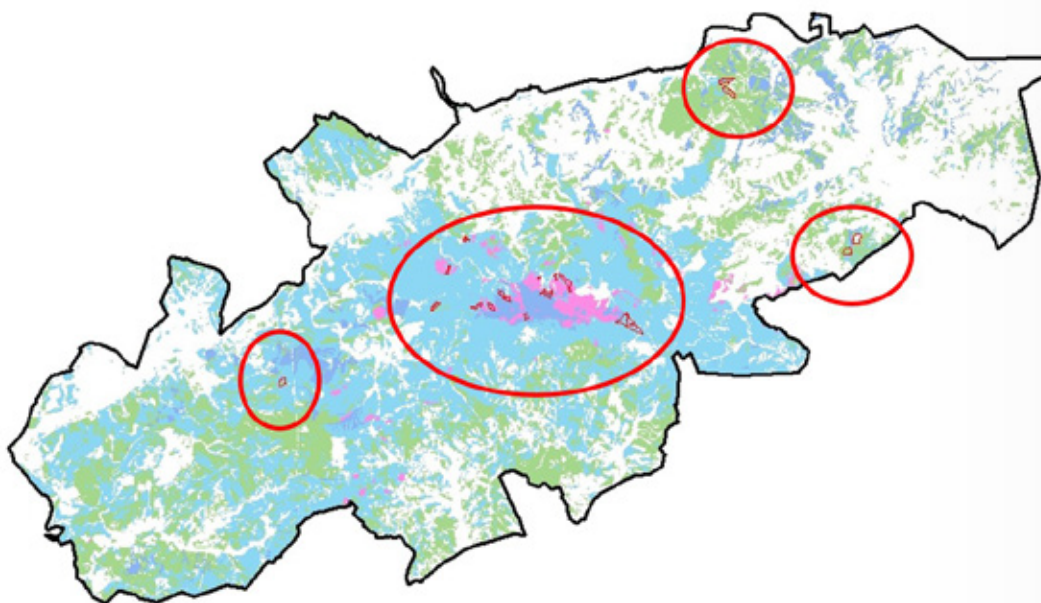
La GFI es descriu a partir de models ORGEST amb algunes millores i variacions a fi de potenciar i mantenir les masses mixtes. La gestió quant a la massa es basa en la generació o manteniment d'una estructura irregular o semiregular, segons el cas, que permeti augmentar la complexitat de la massa disminuint-ne la densitat, regulant-ne l'estrès hídric i seleccionant-ne els peus més vigorosos i vitals que puguin ser més resistents a patògens i a la sequera. En aquest tractament de massa s'incorporen criteris de silvicultura d'arbre individual (*single-tree oriented silviculture*) fomentant peus de planifolis esporàdics i d'altres espècies si poden tenir interès per a la producció de fusta de qualitat o bé des del punt de vista de la biodiversitat (peus llavorers d'espècies escasses, peus amb microhàbitats d'interès, etc.). Per tant, un cop identificats els arbres que cal promoure, s'actua progressivament sobre els seus competidors quant a la capçada (generalment, arbres codominants), tot mantenint aquells arbres d'un estrat inferior quan ajuden a guiar el tronc i el protegeixen de la insolació.

En resum, els tractaments que defineixen la GFI són:

- Estrat arbori: tallada selectiva o aclarida de millora pel que fa a la massa incorporant-hi criteris de silvicultura d'arbre per al foment d'arbres vigorosos i/o amb potencial per fer fusta de qualitat i/o amb interès per a la biodiversitat. Sobre aquelles espècies amb diversos rebrots per soca, fins i tot si no són inventariables (p. ex., alzina, castanyer, roure i també bruc i arboç), es fa una selecció de tanys deixant 1-2 tanys/soca segons la seva estabilitat.
- Estrat arbustiu: estassada selectiva amb l'objectiu d'afavorir espècies d'alt valor per a la biodiversitat i modificar l'estructura del combustible (trencament de la continuïtat vertical) per reduir la vulnerabilitat davant d'incendis i la sequera.
- Plantacions d'enriquiment en cas d'escassa cobertura arbòria i condicions més adverses. Les plantacions inclouen una gran diversitat d'espècies i grups funcionals (coníferes i planifolis).

Al massís del Montnegre i el Corredor aquesta gestió s'ha dut a terme en 25 rodals demostratius distribuïts entre quatre municipis, amb un total de 77 ha: 25 ha en alzinars (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) (5 rodals), 21 ha en castanyedes (*Castanea sativa*) (12 rodals), 11 ha en rouredes (*Quercus pubescens*, *Q. petraea*, *Q. canariensis*) (4 rodals) i 20 ha en pinedes de pi pinyer (*P. pinea*) (4 rodals) (figura 2).

Figura 2. Distribució dels rodals en els límits de l'Associació de Propietaris del Montnegre i el Corredor segons la formació forestal: alzinars (blau clar), castanyedes (rosa), rouredes (blau fosc) i pinedes (verd)



Els tractaments s'han realitzat a partir del marcatge d'una àrea demostrativa dins de cada rodal, per formar i acompanyar els treballadors forestals i garantir que havien assimilat els conceptes abans d'actuar al conjunt del rodal. Les indicacions als treballadors s'han basat en directrius simples transmeses gradualment i, quan ha estat possible, directament a la persona que s'encarrega de tallar. Ha calgut debatre diverses qüestions per arribar a un consens entre els tècnics que han dissenyat els tractaments i un important seguiment del treball, sobretot en els rodals menys densos.

Avaluació tècnica i econòmica de la silvicultura aplicada

Avaluació tècnica

L'avaluació tècnica de la implementació de la GFI es basa en la comparació de les variables dasomètriques abans i després de les actuacions. La [taula 1](#) mostra els resultats del conjunt de rodals del Montnegre i el Corredor agrupats per cada formació forestal, i la [figura 3](#) mostra imatges de les quatre formacions forestals abans i després de les actuacions.

Taula 1. Característiques dasomètriques de les formacions forestals al Montnegre i el Corredor abans i després de l'aplicació de la GFI

Variables dasomètriques	Abans de GFI	Després de GFI
Alzinars		
Densitat (peus/ha)	1.000-1.450	700-850
Diàmetre mitjà (cm)	15-20	15-20
Àrea basal (m²/ha)	25-36	19-24 (reducció: 25-30 %)
Planífolis esporàdics (%)	3-12	5-17
Espècies esporàdiques	Cirerer i roure	
Castanyedes		
Densitat (peus/ha)	970-1.600	750-1.200
Diàmetre mitjà (cm)	15-20	15-20
Àrea basal (m²/ha)	23-34	18-26 (reducció: 15-30 %)
Planífolis esporàdics (%)	8-30	10-36
Espècies esporàdiques	Cirerer i roure	
Rouredes		
Densitat (peus/ha)	980-1.200	700-970
Diàmetre mitjà (cm)	20	20
Àrea basal (m²/ha)	23-42	18-32 (reducció: 20-25 %)
Planífolis esporàdics (%)	3-15	4-17
Espècies esporàdiques	Cirerer	
Pinedes		
Densitat (peus/ha)	1.000-1.100	725-950
Diàmetre mitjà (cm)	15-20	15-20
Àrea basal (m²/ha)	25	19-22 (reducció: 15-25 %)
Planífolis esporàdics (%)	7-8	9-11
Espècies esporàdiques	Roure	

Figura 3. Imatges representatives de les quatre formacions abans i després de les actuacions



Abans de les intervencions, els rodals presentaven una estructura molt simplificada i centrada en classes diametral intermèdies (20 cm), una forta continuïtat horitzontal i vertical de combustible, rebrots poc vigorosos i una presència de planifolis esporàdics generalment baixa.

La GFI dona lloc a masses més estratificades, discontinúes horitzontalment i verticalment, amb una reducció de l'àrea basal d'entre el 15 i el 30 % i amb una més alta proporció de planifolis esporàdics i d'espècies poc representades. La generació d'obertures derivades de l'extracció de peus codominants afavorirà el desenvolupament dels planifolis esporàdics i fomentarà la regeneració incipient. L'estrat arbustiu es redueix des d'un 60-80 % inicial fins a un 25-45 % final i s'actua especialment sobre els matollars de més d'1,3 m d'alçada de les espècies més piròfites, abundants i amb baix interès per a la biodiversitat (productores de refugi o fruit).

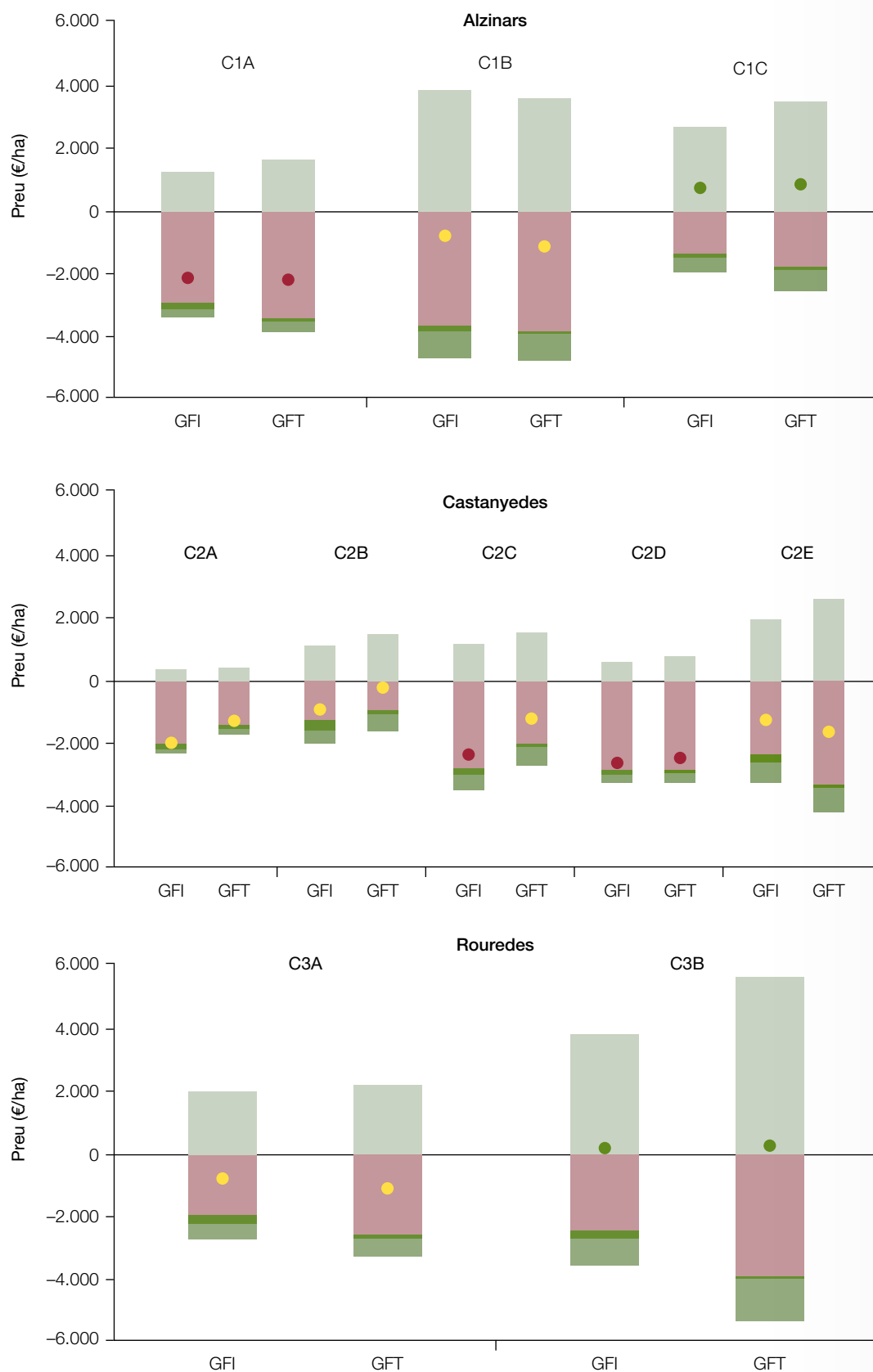
En el cas de les castanyedes, abans de les actuacions presentaven un alt nombre de tanyes per soca i de peus decrepits, que es veu reduït pels tractaments. Pel que fa a les pinedes, els tractaments se centren en la reducció del vol de pins, amb una intensitat més alta de l'estassada de l'estrat arbustiu.

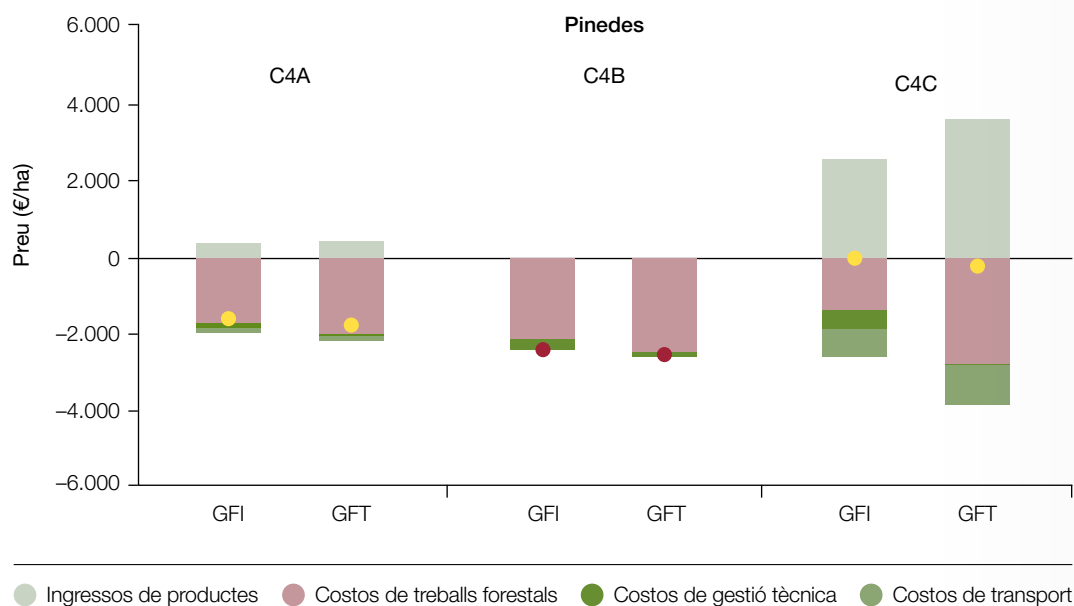
Avaluació econòmica

L'avaluació econòmica de la GFI s'ha realitzat comparant els costos i els ingressos amb els de la gestió tradicional (GFT) que s'aplicaria en aquests rodals. La gestió tradicional consisteix en tallades d'intensitat moderada a intensa centrades en un sol producte (lleenyes). Les dades de costos i ingressos s'han obtingut a partir d'enquestes realitzades a 43 treballadors i tècnics forestals implicats en la implementació dels tractaments, d'un total de sis empreses diferents.

Per a cada formació forestal, s'han agrupat els rodals amb característiques semblants per facilitar les comparacions dels dos tipus de gestió pel que fa a costos i ingressos ([gràfic 1](#)). Cada agrupació (A, B, C, etc.) integra els resultats, ponderats per superfície, d'entre un i tres rodals amb característiques similars entre ells. La [taula 2](#) resumeix les diferències entre els diferents tipus de gestió segons el tipus de costos i ingressos.

Gràfic 1. Costos i ingressos de la gestió tradicional (GFT) i la innovadora (GFI) per a cada formació (alzinars, castanyedes, rouredes, pinedes) i rodal tipus





El punt dins de cada barra marca el balanç: positiu (verd), negatiu fins a 2.000 €/ha (groc) i negatiu amb més de 2.000 €/ha (vermell).

Taula 2. Principals diferències productives i econòmiques entre la gestió innovadora (GFI) i la tradicional (GFT)

Tipus de costos i ingressos	GFI	GFT
Productes obtinguts	Productes diversos Volums baixos	Majoritàriament, producte de baix valor afegit Volums alts
Potencial de generació de productes d'alt valor en el futur	Alt	Baix
Costos de gestió tècnica	Alt (marcatge, formació a treballadors)	Baix
Costos de treballs forestals	Intermedi-baix (alt cost d'escollir i classificar)	Intermedi-alt (alt cost d'abatiment)
Costos d'estassada	Intermedi-alt (selectiva)	Intermedi-baix (sistemàtica, 100 % superfície)

Els costos i els ingressos depenen més de l'estat inicial del rodal i del tipus de producte obtingut que del tipus de gestió aplicada o de la formació. Així, en els rodals més desenvolupats i capitalitzats, amb forta presència d'arbres codominants, els balanços són més favorables (p. ex., C1C, C3B i C4C). En canvi, en els rodals més joves o amb baixes densitats, on el producte extret és inferior, els balanços són menys favorables (p. ex., C1A, C2D). Per exemple, els rodals de castanyer presenten uns ingressos molt baixos a causa del baix valor del producte extret, majoritàriament utilitzat per a biomassa o trituració. En el cas del rodal tipus C4B no hi ha ingressos perquè és una

zona d'escassa cobertura arbòria on els treballs executats van ser una estassada i una plantació d'enriquiment.

Globalment, ni la GFI ni la GFT no són econòmicament sostenibles. Ambdós tipus de gestió donen lloc a balanços negatius amb valors mitjans similars (1.375-1.400 €/ha), que són lleugerament més favorables en la GFI (3 % més barata) degut sobretot a la reducció del cost dels treballs. Aquests valors, però, varien molt segons la formació forestal on es realitzen les tasques (taula 3). Així, mentre que en el cas dels alzinars, rouredes i pinedes l'aplicació de la GFI presenta un balanç més favorable, en el cas de les castanyedes és al contrari. Aquest fet és degut al fet que, en general, a les castanyedes l'aplicació de la GFI suposa un increment de costos que no es veu compensat per la venda del producte (quantitats més petites i de més baix valor). En aquesta formació només en els rodals més capitalitzats (p. ex., els rodals tipus C2E), el balanç és més favorable a GFI degut sobretot a la reducció notable dels costos dels treballs en comparació amb la GFT.

Taula 3. Balanç mitjà ponderat (€/ha) de les actuacions segons la formació forestal i l'aplicació d'una gestió innovadora (GFI) o tradicional (GFT)

Formació forestal	GFI (€/ha)	GFT (€/ha)	Diferència GFI – GFT (€/ha)
Alzinars	-906	-1.086	+180
Castanyedes	-1.967	-1.553	-404
Rouredes	-708	-941	+233
Pinedes	-1.648	-1.812	+164

Pel que fa als ingressos generats pels dos tipus de gestió, la GFT permet obtenir una quantitat més gran de productes, els quals són de valor baix; la GFI, en canvi, dona lloc a una quantitat de productes més baixa, els quals són més diversos i alhora augmenten la disponibilitat de productes d'alt valor a llarg termini. Tot i així, en l'estat en què es troben els rodals en el moment de les actuacions, la diversitat de productes generats per l'aplicació de la GFI no és suficient per generar uns ingressos superiors als de la GFT. Així la GFT dona lloc a uns ingressos superiors als de la GFI (+12 %), especialment als rodals de pinedes (+28 %), on la diversitat de productes és inferior.

Pel que fa als costos, la partida principal (72-87 %) correspon als treballs forestals. Els treballs sobre l'estrat arbori són més barats (-11 %) en la GFI, sobretot a causa de la reducció en el nombre de peus abatuts, i que compensa amb escreix el cost més alt de tria i classificació dels arbres que es fa en la GFI. D'altra banda, l'estassada selectiva de la GFI suposa un cost més alt (+16 %) que l'estassada total de la GFT. Quant al seguiment tècnic, en la GFI és més car (+57 %) a causa de la necessitat de marcatge, seguiment i formació dels treballadors, en particular en aquesta fase en què la GFI era desconeguda per a les empreses forestals. En global, la GFI dona lloc a unes despeses el 8 % inferiors a les de la GFT.

Conclusions

Les conclusions derivades d'aquest estudi són les següents:

- La gestió innovadora (GFI) millora els indicadors relacionats amb la capacitat d'adaptació al canvi climàtic: s'ha reduït la densitat sense perdre el microambient forestal; s'han promogut aquells peus més vigorosos potencialment més resistents als patògens i la sequera; s'han creat estructures multiestratificades i alhora amb una vulnerabilitat més baixa als incendis, i s'ha incrementat la presència de planifolis esporàdics, cosa que fa augmentar la biodiversitat i el valor productiu futur dels rodals actuats.
- Actualment, ni la GFI ni la GFT són econòmicament sostenibles. El balanç és lleugerament més favorable en la GFI (3 % menys costosa), tot i que la xifra final es veu més condicionada per l'estat inicial dels rodals que pel tipus de gestió aplicada. Així, als rodals amb un estat de desenvolupament més gran i amb forta presència d'arbres codominants els balanços són més favorables.
- La GFT aplicada a les masses actuals permet obtenir una quantitat més gran de producte, la qual tot i el seu baix valor dona més ingressos que la GFI (+12 %). La GFI dona una quantitat més baixa de productes més diversos, tot i que s'augmenta la disponibilitat futura de productes d'alt valor.
- Els costos de la GFI són més baixos (-8 %) que els de la GFT: l'increment de la despesa en personal tècnic i en classificació de productes es compensa amb escriure amb la reducció del cost d'execució dels treballs, sobretot pel que fa a la tallada d'arbres.

En conclusió, l'aplicació de la GFI permet millorar l'adaptació dels boscos al canvi climàtic i obtenir balanços econòmics similars (i sovint més favorables) als de la GFT. A més, s'espera que la sostenibilitat econòmica de la GFI es vegi incrementada a mesura que les colles de treballadors coneguin aquesta gestió i sobretot amb l'augment de la generació de productes fustaners d'alt valor afegit.



Anexo 4. Artículo “Resultados de la aplicación en el Mediterráneo subhúmedo catalán de una silvicultura adaptativa con criterios de árbol individual y de silvicultura naturalística”

Resultados de la aplicación en el Mediterráneo subhúmedo catalán de una silvicultura adaptativa con criterios de árbol individual y de silvicultura naturalística

Jaime Coello Gómez. Dr. Ingeniero de Montes, Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Catalunya.

Miriam Piqué Nicolau. Dra. Ingeniera de montes, Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Catalunya.

Mario Beltrán Barba. Ingeniero de Montes, Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Catalunya.

Lídia Guitart Xarpell. Ingeniera de Montes, Associació de Propietaris Forestals del Montnegre i el Corredor.

Noemí Palero Moreno. Ingeniera de Montes, Centre de la Propietat Forestal.

Jordi Vigué Ruaix. Ingeniero de Montes, Associació de Propietaris Bellmunt-Collsacabra.

Joan Rovira Blanco. Grado en Ingeniería Forestal, Diputació de Barcelona.

Cita bibliográfica: Coello, J., Piqué, M., Beltrán, M., Guitart, L., Palero, N., Vigué, J., Rovira, J. 2021. Resultados de la aplicación en el Mediterráneo subhúmedo catalán de una silvicultura adaptativa con criterios de árbol individual y de silvicultura naturalística. En: Tusell, J. M., Beltrán, M., Monserrate, A. (eds). XXXVIII Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Pp: 74-85. ISBN: 978-84-09-31651-9

Resumen _ El proyecto LIFE MixForChange (2016-2022) tiene como objetivo principal contribuir a la adaptación e incrementar la resiliencia de los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos al cambio climático, favoreciendo su conservación y el mantenimiento de sus funciones productivas, ambientales y sociales. En el marco de este proyecto, financiado por el programa LIFE de la Unión Europea, hemos implementado 164 ha de tratamientos de silvicultura adaptativa al cambio climático incorporando criterios de silvicultura naturalística y de árbol individual, en el Montnegre-Corredor, Montseny, Bellmunt-Collsacabra y Ripollès sur.

A grandes rasgos, esta silvicultura se caracteriza por fomentar la diversidad de especies y estructuras, con intervenciones de baja intensidad centradas en promover los árboles o grupos de árboles más vigorosos y de mayor interés (económico o ecológico), para limitar el gasto de los tratamientos y beneficiarse de los procesos naturales favorables a los objetivos de la silvicultura (poda natural, microambiente forestal húmedo y sombreado para limitar el desarrollo del sotobosque, etc).

En esta jornada presentamos el planteamiento del proyecto, describimos los criterios silvícolas de la silvicultura naturalística y de árbol individual y mostramos los principales resultados de esta silvicultura, los productos logrados y previstos en el marco del proyecto.



Introducción: el proyecto LIFE MixForChange y las áreas de trabajo

El proyecto LIFE MixForChange (www.mixfor-change.eu; 2016-2022) está coordinado por el CTFC y tiene como socios beneficiarios el CPF, la APF Montnegre-Corredor y la APF Bellmunt-Collsacabra, con la colaboración de personal técnico de la Diputación de Barcelona. El objetivo principal de este proyecto es contribuir a la adaptación y a la resiliencia de los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos al cambio climático, favoreciendo su conservación y el mantenimiento de sus funciones productivas, ambientales y sociales.

La principal actividad de este proyecto es el diseño, implementación, seguimiento (ecológico y silvícola) y transferencia de la aplicación de una silvicultura adaptativa que incorpora criterios de silvicultura naturalística y de árbol individual, como se describe a continuación. Esta silvicultura se ha aplicado en 164 ha de masas mixtas de robledal (*Quercus canariensis*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*), pinar (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*, *P. pinaster*), castañar (*Castanea sativa*) y encinar (*Quercus ilex ssp. ilex*) en la zona del Mediterráneo subhúmedo catalán. Las

áreas de trabajo son el Montnegre-Corredor, Montseny, Bellmunt-Collsacabra y Ripollès sur. Estas intervenciones se aplicaron durante la parada vegetativa 2017-18 o 2018-19. Además, se han replicado estos tratamientos en 56 ha adicionales, a lo largo del proyecto.

Los rodales intervenidos en el proyecto presentaban una o varias de las siguientes características (*Fotografía 1*):

- Masas mixtas (al menos dos especies que aportan más del 20% del área basal total) o casi mixtas, a menudo con presencia de especies con potencial para hacer madera de alto valor: cerezo, quejigo, roble albar, fresno, serbal, mostajo, arce, etc.
- Gestión abandonada en los últimos años o bien excesivamente simplificada y centrada en productos de bajo valor añadido (leñas).
- Masas con problemas sanitarios y de vitalidad, especialmente los castaños y algunos pinares, que a menudo hacen necesario acelerar o acompañar un cambio en la especie principal.
- Muchos de estos bosques son periurbanos, con bastante demanda simultánea de servicios ecosistémicos.



Fotografía 1. Vista general de un bosque mixto mediterráneo subhúmedo en el ámbito catalán.



Fotografía 2. Rodal demostrativo del proyecto Life MixForChange después de una actuación de silvicultura adaptativa en el Montnegre-Corredor.

Descripción general de la silvicultura MixForChange

La silvicultura desarrollada en el proyecto, y que se adapta a las particularidades de las zonas de actuación, se basa en los modelos ORGEST para estas formaciones, incorporando criterios de silvicultura adaptativa al cambio climático, silvicultura naturalística y silvicultura de árbol individual. Estos criterios silvícolas no son unas instrucciones precisas y de aplicación sistemática, sino que son más bien unos principios generales, compatibles entre sí, a la hora de implementar las intervenciones:

- La silvicultura adaptativa al cambio climático pretende mejorar la capacidad de las masas para tolerar (resistencia) las principales perturbaciones o amenazas que las puedan afectar, y también para recuperarse (resiliencia) una vez han sido afectadas por éstas (*Fotografía 2*). En nuestro contexto, las principales amenazas son los incendios forestales, la sequía y los patógenos (plagas y enfermedades). Como estas amenazas se retroalimentan entre sí, se tienen que abordar de manera conjunta. Así, la silvicultura adaptativa mediterránea contempla la

ruptura de la continuidad vertical de combustible (reducir el riesgo de que un fuego de superficie pueda alcanzar un fuego de copas), mantener y promover la diversidad de especies (para reducir la vulnerabilidad a plagas y enfermedades específicas y tener más respuestas ante una perturbación – regeneración de semilla y de rebrote) y la promoción de los árboles o grupos de árboles con más vitalidad.

- La silvicultura naturalística (también llamada “próxima la natura”, “prosilvica” o “close to nature”) busca aprovechar las inercias y las dinámicas naturales favorables a los objetivos de la gestión para reducir su coste a la vez que se incrementan los ingresos para aprovechar productos con valor de mercado más alto (*Fotografía 3*). En el recientemente publicado “Manual de gestión naturalística de los bosques de coníferas del Pirineo” (Beltrán *et al.*, 2020), se considera esta silvicultura como “un resultado, todavía inacabado, de un largo proceso de descubrimiento sobre cómo gestionar los bosques de una manera eficaz, cuidadosa y detallista”. Un ejemplo, sinérgico con la silvicultura adaptativa mencionada previamente, sería el mantener en todo momento un “microambiente forestal”,

oscuro y húmedo, que permita a la vez: i) limitar el desarrollo del sotobosque y por tanto mantener la discontinuidad del combustible y abaratar o eliminar futuros desbroces; ii) reducir la transpiración causada por la insolación directa y el efecto desecador del viento; iii) facilitar la poda natural y evitar la emisión de brotes epicormicos de los árboles de mayor interés comercial gracias al acompañamiento lateral con aquellos árboles que hacen una competencia severa. Este principio general es compatible con la apertura, en puntos concretos de la masa, de claros o espacios para promover la instalación o desarrollo de una nueva cohorte, si se dan las condiciones adecuadas y siempre que los árboles a cortar no tengan opción de incrementar su valor en el futuro.

- La silvicultura de árbol individual (*single-tree*) tiene como principio general hacer las intervenciones silvícolas centradas en promover los árboles de mayor interés, ya sea por motivos comerciales o ecológicos (Figura 1). Este principio general es, igualmente que en los casos anteriores, flexible y adaptable con el tiempo. En general, esta silvicultura se suele organizar en dos fases: i) en las partes de la masa jóvenes y con alta densidad se permite una fase de alta competencia entre los árboles, para conseguir una diferenciación natural y una buena conformación de los árboles dominantes, ahorrando aclareos de alto coste; ii) una vez completada esta fase y/o en partes de la masa que muestren un estado de desarrollo más avanzado (árboles dominantes diferenciados), se identifican y marcan los árboles de mayor valor desde el punto de vista comercial (pies vigorosos y muy conformados de especies de alto valor)

o de la conservación (árboles de especies poco representadas o con microhábitats de interés), que pasan a denominarse "árboles de futuro". Desde este momento, las intervenciones se centran en encontrar un balance entre dar espacio progresivamente a los árboles de futuro para promover su desarrollo y vigor (claras selectivas sacando progresivamente los principales competidores para la expansión de su copa) pero manteniendo un acompañamiento lateral, respetando los árboles próximos que no hagan una competencia excesiva.



Fotografía 3. La silvicultura naturalística se basa en la realización de claras selectivas con marcaje completo previo, según las características y el papel de cada árbol en la masa y en relación con las dinámicas naturales presentes que se quieren regular y las inexistentes que se quieren reactivar. Foto del rodal demostrativo del Ripollès.

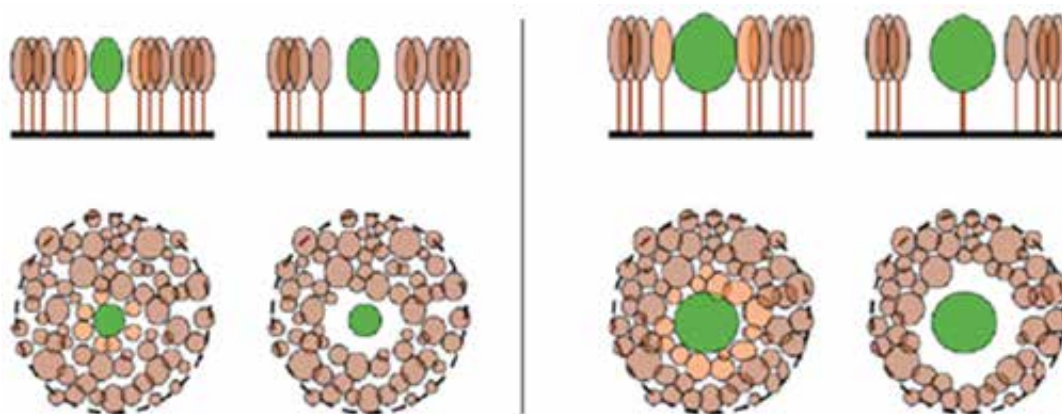


Figura 1. Esquema de apertura progresiva del espacio de crecimiento de un árbol seleccionado, como ejemplo de la silvicultura de árbol individual. Figura de Mori y Pelleri, 2014

Si bien estos principios se pueden considerar como intuitivos y entendibles a nivel conceptual, sobre el terreno se dan a menudo situaciones contradictorias o con dificultades para encontrar un balance entre objetivos divergentes: como mantener todas las especies si hay alguna con problemas evidentes de adaptación o vigor; como mantener un microclima forestal sin que haya una competencia excesiva o como mantener una baja vulnerabilidad estructural a incendios con una masa multiestratificada. Además, la mezcla de especies y estructuras a pequeña escala dificulta la aplicación de soluciones a nivel de todo el rodal. Por lo tanto, el papel del silvicultor cobra una importancia capital con esta silvicultura para conseguir los resultados esperados.

En comparación con la silvicultura dominante en nuestro contexto, estos principios dan lugar a intervenciones de más baja intensidad, más frecuentes y detalladas. En otras palabras, se incrementa la implicación del personal cualificado (marcaje, formación de las cuadrillas) pero se intenta reducir la inversión en trabajos forestales (desbroces, cortas y extracción de madera), tratando de conseguir una silvicultura coste-eficaz. La periodicidad de la aplicación de esta silvicultura depende del estado de desarrollo de la masa, de la productividad de la estación y de la intensidad del último tratamiento aplicado. En términos generales, esta periodicidad varía habitualmente entre 6 y 10 años.

Caracterización de las intervenciones silvícolas MixForChange

Las intervenciones silvícolas del proyecto se han implementado sobre 164 ha (34 rodales) + 56 ha (10 rodales) de replicación. La implementación se ha diseñado en base a una caracterización previa del rodal, en la que recopilamos de manera detallada las variables a nivel de masa y de las especies presentes en el estrato arbóreo y sotobosque, con énfasis en los individuos con potencial para ser identificados como árboles de futuro.

Para evaluar el efecto de las intervenciones hemos instalado en el conjunto de rodales del proyecto un total de 71 parcelas permanentes de seguimiento, con un radio entre 10 y 13m. Hemos

caracterizado todos los árboles dentro de las parcelas, con mayor detalle en los 450 árboles de futuro identificados en total, y también el sotobosque y la vulnerabilidad estructural a incendios (Piqué et al., 2011). Hemos realizado este inventario en tres momentos: antes y justo después de la intervención (para caracterizarla) y durante la parada vegetativa 2020/21 (2 o 3 años después de las intervenciones) para evaluar la evolución a corto plazo de la masa. En los mismos momentos, y a escala de rodal, también hemos estimado el efecto de las intervenciones sobre un indicador indirecto del estado de conservación: el Índice de Biodiversidad Potencial, IBP (Larrieu y Gonin, 2009; Baiges et al., 2018), del cual se está desarrollando una versión adaptada a las condiciones mediterráneas en el proyecto LIFE BIORGEST.

Los últimos datos recogidos, tanto del inventario dasométrico, como de la vulnerabilidad estructural y del IBP están actualmente (marzo 2021) en fase de análisis y por tanto no es posible incluir sus conclusiones dentro del presente documento. No se muestran los datos de vulnerabilidad estructural ni de IBP correspondientes al inventario inmediatamente posterior a las intervenciones, puesto que los efectos sobre estos indicadores se dan a medio plazo.

Los principios aplicados en esta silvicultura son los descritos en el segundo apartado de este artículo: adaptativa, naturalística y de árbol individual. Los tratamientos aplicados en los rodales del proyecto se pueden resumir como los de una silvicultura de masa mixta, irregular o semi-regular, con la aplicación de claras selectivas (en favor de los árboles de futuro) cuando hay presencia de estos individuos, y de claras mixtas (bajas y altas) al resto de la superficie. En las formaciones con monte bajo se han hecho selecciones de rebrotes tratando de lograr una estructura de monte medio ("*coppice with standards*"). Los modelos ORGEST de referencia son aquellos más próximos a generar estos tipos de estructuras deseadas, a pesar de que ha sido necesario incorporar modificaciones en los modelos para acoger la silvicultura MixForChange.

A efectos prácticos, a pesar de las adaptaciones propias de cada rodal, de la presencia y características de los árboles de futuro, esta silvicultura se concreta en las siguientes intervenciones:

- **Identificación de los árboles de futuro** (o de valor). Son pies con interés comercial futuro (diámetro de al menos 15-20 cm, muy



conformados, con la copa desarrollada), de especies productoras de madera de calidad que se aprovecharán considerando un turno tecnológico, o desde el punto de vista de biodiversidad, con pies de especies poco representadas o con microhábitats de interés, y que no se recolectarán nunca. En esta identificación se busca un máximo de 100-150 árboles de futuro por hectárea (de valor comercial o de biodiversidad), distribuidos de la manera más regular posible; la distancia orientativa entre los troncos de dos árboles de futuro sería de al menos 8-10 m.

- **Claras selectivas en favor de los árboles de futuro**, consisten en sacar el principal competidor, es decir, aquel pie que limita más con la expansión de la copa del árbol de futuro. Si éste es bastante estable y no hay riesgo de emisión de brotes epicormicos (árbol de futuro con interés comercial) se puede plantear la eliminación de 2 o incluso 3 competidores, siempre prestando atención a la competencia a nivel de la copa. También se plantea una poda de calidad del árbol de futuro, si vale la pena (solo en árboles de futuro relativamente pequeños, que puedan acumular un volumen de madera importante por encima de las heridas de poda). El resto de los árboles situados cerca del árbol de futuro, dominados por este y que hacen un acompañamiento lateral, no se cortan.
- **Al resto de la superficie (zona sin influencia de las claras selectivas) se aplican las indicaciones del modelo ORGEST** correspondiente, para la regulación de la densidad total de la masa, principalmente con claras mixtas respetando todas las especies presentes y selección de rebrotes dejando 1-3 troncos por tocón, en función de su estabilidad. También se ha tenido en cuenta el mantenimiento de la madera muerta preexistente (en pie y en suelo) de diámetros más grandes, con una densidad de referencia de entre 5 y 10 pies por hectárea.
- **Desbroce selectivo y parcial**, respetando cerca de un 25% de cobertura de sotobosque. Este desbroce se centra en reducir la presencia de los individuos de más de 1,3 m de altura, sobre todo de las especies más pirófilas y de aquellas que no producen fruto de interés para la fauna. Para limitar la fuerza del rebrote (sobre todo con brezo, madroño y durillo) se deja 1 tronco por tocón. En el caso del avellano solo se cortan los brotes del perímetro del tocón.

- Los restos de la corta se trocean y se reparten para evitar acumulaciones. Esto no afecta a la madera muerta preexistente ni a los árboles explícitamente seleccionados para la generación de nueva madera muerta, si hay.
- En las áreas del bosque que presentan una densidad muy baja a causa de una perturbación (ventada, mortalidad por problemas sanitarios) y una estructura simplificada se hacen plantaciones de enriquecimiento mixtas, incluyendo especies productoras de madera de calidad.

En todos los rodales se ha considerado imprescindible hacer una transferencia cuidadosa y progresiva de los principios de esta silvicultura a las personas responsables de las cuadrillas de trabajos forestales, con énfasis en las diferencias con la silvicultura tradicional. En función de la complicación técnica de la ejecución y de la capacidad de las cuadrillas, el marcaje ha sido total, parcial (solo árboles de futuro y, puntualmente algunos competidores clave) o limitado en las "áreas de entrenamiento" del personal.

En la *Tabla 1* se muestra la caracterización cuantitativa de la silvicultura aplicada para los diferentes tipos de rodales demostrativos del proyecto Life MixForChange.

Balance económico de las intervenciones respecto a la silvicultura tradicional

El análisis económico de las actuaciones se ha basado en la comparación de los costes e ingresos de la gestión innovadora implementada en el proyecto (GFI) con la gestión tradicional (GFT). La GFT se define como aquella que se habría aplicado en estos mismos rodales siguiendo los criterios predominantes a cada formación y se caracteriza por cortas de intensidad moderada a intensa en las que se suele promover la obtención de un solo producto, a menudo con una cadena de transformación corta (leñas, biomasa o incluso madera de sierra de baja calidad). Los datos recopilados para hacer esta comparación se han recogido a través de encuestas realizadas a 84 trabajadores y 9 técnicos forestales implicados en la implementación de los tratamientos en los 4 macizos del proyecto. Los principales resultados de este análisis, resumidos a la *Tabla 2*, son los siguientes:

Tabla 1. Resumen de los diferentes tipos de rodales demostrativos y de las intervenciones silvícolas aplicadas.

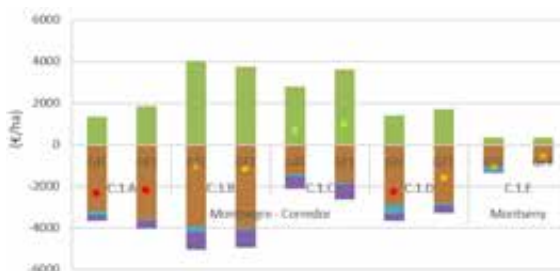
Formación	Tipos de masa	Modelo ORGEST	Tratamientos específicos, además de los generales*	Cifras de la intervención	
				Densidad (pies/ha)	AB (m ² /ha)
Encinar	Mixto, irregular, muy capitalizado (AB 30-40 m ² /ha)	Qii04, QiiPL3	Cortas de selección en encina (CD20-30), eliminando pies de gran copa, pero sin un gran diámetro de tronco	1.375 → 815 (-40%)	34 → 24 (-29%)
	Mixto, irregular, capitalización intermedia (AB 25-30 m ² /ha)	Qii01, QiiPL3	Cortas de selección en encina (CD20-35), eliminando pies de gran copa, pero sin un gran diámetro de tronco	1.035 → 690 (-33%)	27 → 20 (-26%)
	Puro, irregular, ámbito litoral, calidad media	Qii04	Clara selectiva centrada en pies codo-dominantes para adaptarse al modelo	1.560 → 1.100 (-29%)	24 → 19 (-21%)
	Mixto, irregular, ámbito litoral, calidad alta	Qii01	Entresaca para adaptarse al modelo	1.200 → 820 (-32%)	26 → 17 (-34%)
Castañar	Mixta multiestratificada, castañar regular poco abundante (<25% AB), vitalidad baja	Cs05, CsPL3	Acompañar el cambio de especie eliminando los castaños poco vitales	1.050 → 800 (-24%)	27 → 22 (-18%)
	Mixta multiestratificada, castañar regular no dominante (35-50% AB), vitalidad baja	Cs03, Cs05, CsQu1, CsPL3	Acompañar el cambio de especie eliminando los castaños poco vitales	1.400 → 860 (-39%)	30 → 21 (-30%)
				1.140 → 770 (-32%)	23 → 19 (-20%)
	Mixta multiestratificada, castañar regular dominante (60-75% AB), vitalidad baja	Cs05, CsQu1	Acompañar el cambio de especie eliminando los castaños poco vitales	1.465 → 950 (-35%)	29 → 22 (-25%)
				965 → 775 (-20%)	25 → 22 (-15%)
	Mixta multiestratificada, castañar regular más o menos abundante (40-60% AB), vitalidad intermedia	Cs03 CsPL3	Potenciar planifolios acompañantes manteniendo el castaño a medio plazo	1.520 → 1.030 (-32%)	30 → 23 (-23%)
Robledal	Irregular por bosquetes, dominada por quejigo andaluz vital	Qca01, QcaAl1, Qca-PL3	Claras selectivas en favor de los árboles de futuro	1.035 → 735 (-29%)	27 → 21 (-22%)
	Irregular por bosquetes, dominada por roble albar, vital	Qpe02, QcaAl1	Claras selectivas en favor de los árboles de futuro	1.245 → 975 (-22%)	42 → 32 (-25%)
	Irregular por bosquetes, dominada por roble pubescente, con otros robles y/o planifolios	-	Claras selectivas en favor de los árboles de futuro	1.200 → 750 (-38%)	20 → 15 (-25%)
	Irregular pie a pie, muy capitalizada, dominada por roble pubescente con otros planifolios y pino albar	-	Claras selectivas en favor de los árboles de futuro	1.528 → 976 (-50%)	36 → 27 (-53%)
	Irregular por bosquetes, dominada por carvallo con otros planifolios, calidad de estación alta	Qr01	Claras selectivas en favor de los árboles de futuro	1.100 → 775 (-30%)	30 → 25 (-17%)
Pineda	Pino piñonero en fase de senescencia, capitalización intermedia, subvuelo de quercineas	PPa08, PpaQi1	Reducir densidad de pinos para dar espacio a los planifolios de mayor potencial para avanzar en multiestratificación	1.090 → 840 (-23%)	26 → 20 (-23%)
	Mixta poco capitalizada, subvuelo de quercineas, baja calidad de estación	Qii04, QiiP1	Promover el estrato inferior sin reducir mucho la densidad	570 → 450 (-21%)	11 → 10 (-9%)
	Pinar mixto por bosquetes; pino albar, roble pubescente y otros planifolios	PsQh3	Promover el desarrollo de los planifolios	800 → 585 (-27%)	24 → 20 (-17%)
	Pinar mixto pie a pie, capitalizada; pino albar afectado por sequía y nevadas; roble pubescente y otros planifolios	-	Promover el desarrollo de los planifolios; corta sanitaria del pino	1.435 → 940 (-34%)	56 → 44 (-21%)

* en todos los casos se hace una identificación y liberación de los árboles de futuro, selección de brotes si hay monte bajo y desbroces selectivos, como se ha descrito previamente.

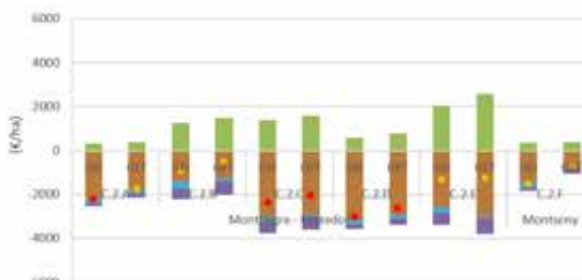
- A nivel global, ni la GFI ni la GFT no son económicamente sostenibles. Ambos tipos de gestión dan lugar a balances negativos, con valores medios de entre 600 y 1.800 €/ha según la zona de estudio y tipología de bosque. La GFI da lugar a resultados económicos parecidos a los de GFT en los rodales más desarrollados y capitalizados, donde los árboles codominantes (sobre los cuales se suelen centrar estas cortas) tienen dimensiones importantes (ej: rodales C1B, C2F, C3B o C4C de la Figura 2). En cambio, en los rodales más jóvenes o con bajas densidades, donde se extrae menos producto y de más baja calidad, el balance económico es favorable a la GFT (ej: rodales C2A o C2C a la Figura 2) con ahorros globales de fines el 57%.
- En cuanto a los ingresos, la GFT da lugar a ingresos más altos (+4-33%) que la GFI, gracias a la obtención de una cantidad más grande de producto, a pesar de ser predominantemente de bajo valor añadido. La GFI da lugar a una menor cantidad de producto pero más diverso.
- En cuanto a los costes, en la mayor parte de casos, la GFI da lugar a costes más elevados (+14-37%) que la GFT. En ambos casos los principales costes (72-85%) corresponden a los trabajos forestales, los cuales son entre 10-32% más caros en la GFI. En el caso de los tratamientos sobre el estrato arbóreo, el estado inicial de los rodales determina si el coste superior de selección de la GFI compensa o no el coste superior de abatimiento y extracción de la GFT. Los desbroces selectivos de la GFI suelen ser más caros (12-77%) que el desbroce o la ausencia de éste de la GFT. El principal incremento del coste de la GFI respecto la GFT se da en el coste de seguimiento técnico (marcaje, seguimiento y formación de las cuadrillas), incrementado en un 51-83%, si bien esta partida solo supone el 1-25% del coste total.

Se ha de decir que este análisis se ha hecho en base a una primera aplicación de la GFI, es decir, que el balance económico es mucho más negativo de lo que se espera obtener en aplicaciones futuras de esta gestión, con el personal más capacitado y las masas más preparadas para esta silvicultura: identificación más sencilla de los árboles de futuro y de sus competidores y generación progresiva de productos de alto valor añadido. En todo caso, la GFI incorpora criterios de adaptación al cambio climático y de conservación en mayor grado que la GFT, más

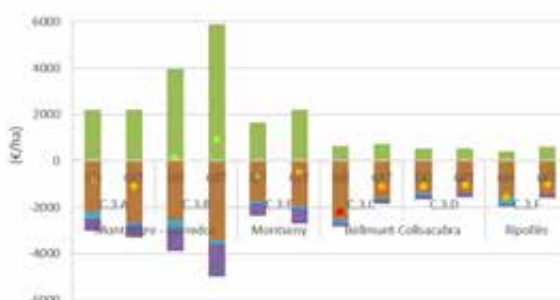
Encinares



Castañar



Robledales



Pinares

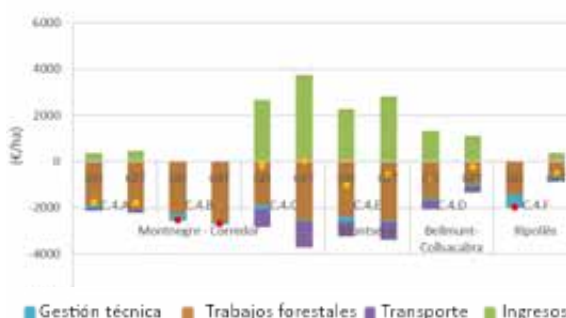


Figura 2. Balance económico de la aplicación de una gestión forestal tradicional (GFT) e innovadora (GFI) en diferentes tipos de rodales, por tipología de bosque, en rodales representativos del Montnegre-Corredor. Los puntos dentro de cada columna indican el balance económico de la intervención: positivo (punto verde), negativo hasta 2.000 €/ha (amarillo) y negativo con más de 2.000 €/ha (rojo).

Tabla 2. Principales diferencias entre la gestión innovadora (GFI) y la tradicional (GFT) que afectan al balance económico.

Tipos de costes y ingresos	GFI	GFT
Productos obtenidos	Productos diversos Volúmenes bajos	Mayoritariamente producto de bajo valor añadido Volúmenes altos
Potencial de generación de productos de alto valor en el futuro	Alto	Bajo
Costos de gestión técnica	Alto (marcaje, formación a trabajadores)	Bajo
Costos de trabajos forestales	Intermedio (a pesar del coste superior de clasificación)	Intermedio (coste superior de abatimiento y extracción)
Costos de desbroce	Intermedio alto (selectiva)	Intermedio bajo (sistemática, 100% superficie o no se hace)

centrada en buscar la sostenibilidad económica en cada intervención, por lo cual es difícil que los resultados económicos de GFI hubieran sido más favorables en esta primera intervención, en parte porque no se incorpora el valor equivalente de esta mejora de los servicios ecosistémicos.

Retos para la adopción de esta silvicultura

Como se ha descrito, esta silvicultura presenta interesantes oportunidades para su despliegue en nuestro contexto, si bien hay una serie de limitaciones o retos a superar.

Masas en transición. Esta silvicultura implica un papel muy activo de la persona gestora, especialmente en las primeras intervenciones, las cuales se pueden considerar como “de transición o adaptación”, es decir, de preparación de las masas hacia una gestión cada vez más basada en los principios descritos. En las primeras intervenciones, por lo tanto, los resultados económicos muy difícilmente mejorarán los de la silvicultura tradicional. En cambio, a medida que se van aplicando estos principios en las sucesivas intervenciones en un rodal determinado, la estructura de la masa irá facilitando la toma de decisiones, especialmente por lo que respecta a las intervenciones en favor de los árboles de futuro, los cuales serán cada vez más evidentes, y por tanto la aplicación será cada vez más sencilla y se obtendrán cada vez más productos de alto valor.

Cambio de mentalidad. Cualquier cambio en la manera de gestionar un bosque es difícil de implementar y los resultados de la adopción de nuevos criterios, sobre todo cuando las

intervenciones son de baja intensidad, no son evidentes hasta después de varias décadas. Además, estos criterios suponen la necesidad de señalar (o hacer una formación intensa del personal operario por qué interioricen los principios a aplicar) y un compromiso de intervención periódica y más frecuente que en la gestión tradicional, para evitar una situación de excesiva competencia con los árboles de futuro. Por lo tanto, la adopción de esta silvicultura requiere un cambio de mentalidad y una visión a medio-largo plazo que es habitual, a pesar de que no generalizada, en la silvicultura mediterránea.

Formación y capacitación. Los principios que fundamentan esta silvicultura no se encuentran suficientemente incorporados dentro de los planes de estudios forestales, por lo que es importante incidir en la formación del personal que realiza la planificación, la ejecución y el seguimiento de estos trabajos para conseguir una transferencia eficaz hacia la propiedad forestal y a las cuadrillas que ejecutan los trabajos. También se hace imprescindible una elevada capacitación del personal operario en el monte, para asegurar la eficiencia de los tratamientos y la minimización de los impactos negativos en el bosque y en la estación forestal, que al fin y al cabo son el origen de la riqueza.

Logística. La aplicación de esta silvicultura a menudo da lugar, en el mismo rodal, a productos de tamaños diversos, por lo que es clave planificar la logística de clasificación y transporte de los diferentes productos generados, para valorizar aquellos con un valor añadido más alto. En este sentido, la APMC está desarrollando un sistema piloto de logística y comercialización de los productos forestales en el ámbito de la Asociación, articulado desde un punto de vista logístico y metodológico. La logística incluye la definición de



las actuaciones, productos, transporte, destinos y acopios; el establecimiento de los condicionantes técnicos y legales que afectan a la logística, comercialización y estimación económica para determinar las opciones más eficientes. A nivel metodológico se incluye la creación de un diagrama de toma de decisiones para replicar este sistema en otros macizos o asociaciones.

Administrativa. Todo el conjunto del sistema administrativo para la planificación y la gestión forestal, tanto de fincas privadas como públicas, también tiene que ser objeto de revisiones continuas y de modificaciones para dar cabida y contexto a la silvicultura adaptativa al cambio climático. Los esfuerzos para mejorar las actuaciones forestales tienen que ir ligados también a los cambios administrativos necesarios, pues el sistema vigente desde hace años puede no ser óptimo ahora y/o en el futuro con el contexto cambiante. Es de especial relevancia en los aspectos relacionados con la planificación estratégica, tanto en la diagnosis de los impactos previstos como en los referentes o modelos de gestión, y en los relacionados con la implementación, seguimiento y evaluación de las actuaciones, con la integración específica de los efectos de los tratamientos en la adaptación a los impactos previstos y en el conjunto de funciones del bosque.

Conclusiones

La silvicultura propuesta presenta, a medio plazo, importantes ventajas desde el punto de vista de la adaptación, económicos, ambientales y sociales:

Adaptación. Esta silvicultura incorpora criterios de adaptación al cambio climático que redundan en un incremento de la capacidad de resistencia y resiliencia de las masas ante diferentes perturbaciones asociadas al cambio climático: sequía, incendios, plagas y enfermedades.

Económicos. Si bien los resultados económicos de la primera intervención de esta silvicultura han sido parecidos (masas capitalizadas) o más desfavorables (masas poco capitalizadas) que los de la silvicultura tradicional, se espera que, con la transformación progresiva de las masas a este método el balance económico sea progresivamente más favorable. Las principales oportunidades son la reducción esperada del coste de las intervenciones, sobre todo de

aquellas que supongan una inversión limpia (desbroces, corta y extracción de pies) y la disponibilidad creciente de árboles de futuro con alto valor comercial.

Ambientales. Esta silvicultura supone una baja intensidad en las intervenciones e incorpora criterios de conservación de la biodiversidad, como por ejemplo la promoción de especies poco representadas y el mantenimiento de árboles de interés para la fauna (con microhábitats, muertos en pie o en el suelo) y de arbustos productores de fruto y especies de interés florícola.

Sociales. Si bien es adaptable a una gran variedad de contextos, esta silvicultura es especialmente interesante para entornos periurbanos y áreas de alta frecuentación, donde la sociedad puede ser sensible a intervenciones silvícolas de más alta intensidad.

De manera general, la silvicultura innovadora propuesta diferirá significativamente de la tradicional en cuanto a los servicios ecosistémicos generados a medio plazo y también en cuanto a otros beneficios indirectos, como por ejemplo la provisión de productos con circuitos económicos más largos. Por lo tanto, el balance económico mostrado, limitado a los costes e ingresos directos de las actuaciones forestales, muestra solo parcialmente el potencial de la silvicultura propuesta.

A pesar de estas ventajas, hay todavía retos para su generalización, relacionados con la necesidad de una planificación a largo plazo, la aplicación relativamente frecuente de las intervenciones, con la formación de las personas implicadas en la planificación y ejecución y también con la logística de los productos obtenidos.

Agradecimientos



El proyecto LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/SE/000060) está financiado por el programa LIFE de la Unión Europea. La preparación de este artículo también ha sido financiada a través del proyecto "Masas forestales mixtas para la adaptación de los bosques al cambio climático,

PRODUCTOS DISPONIBLES DEL PROYECTO LIFE MIXFORCHANGE

El proyecto LIFE MixForChange acabará en la primavera 2022, pero ya se dispone de una serie de productos de transferencia sobre los aspectos abordados en este artículo, y otros relacionados:

- Documentos descriptivos de la silvicultura aplicada a cada una de las formaciones forestales del proyecto (<http://www.mixforchange.eu/ca/documentacio-i-productes/>).
- Cartografía de caracterización de la vulnerabilidad ante el cambio climático de los bosques mediterráneos subhúmedos (<http://www.mixforchange.eu/ca/documentacio-i-productes/>).
- Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor (Coello *et al.*, 2020a): herramienta de ayuda a la toma de decisiones en silvicultura con criterios de árbol individual, para facilitar la evaluación de la calidad de la madera en pie en varias fases vitales y también los posibles destinos industriales de las principales especies de planifolios de alto valor.
- Catálogo de usos de la madera de planifolios de alto valor en Catalunya (Coello *et al.*, 2020b): publicación divulgativa que tiene como objetivo mostrar la gran diversidad y la relevancia de esta industria de transformación en Catalunya.

Está previsto, además, editar durante 2021 dos guías:

- "Políticas locales, cambio climático y gestión forestal en bosques periurbanos: una integración necesaria", que tiene como objetivo presentar las características y valor del bosque periurbano, sus amenazas ligadas al cambio climático y como la gestión forestal sostenible y adaptativa puede ayudar a hacerles frente. Además, muestra ejemplos de medidas y acciones que se pueden llevar a cabo desde las políticas locales para fomentar la gestión adaptativa del bosque periurbano.
- Guía de silvicultura adaptativa al cambio climático con criterios naturalísticos y de árbol individual para bosques mediterráneos subhúmedos", que tiene como objetivo mostrar los criterios técnicos a tener en cuenta a la hora de planificar e implementar una silvicultura con los criterios mostrados en el presente artículo.

fomento de la biodiversidad y diversificación de la producción forestal", dentro de la operación 01.02.01 de Transferencia Tecnológica del Programa de Desarrollo Rural de Catalunya 2014-2020.

Referencias

- Baiges, T., Cervera, T., Palero, N. 2018. L'índex d'avaluació de la biodiversitat potencial dels boscos de Catalunya (IBPC). Què és i com es calcula? A: Tusell, JM., Beltrán, M. (eds). XXXV Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera. Consorci Forestal de Catalunya. Pp: 34-43.
- Beltrán, M., Cano, F., Garitacelaya, J., Piqué, M. 2020. Manual de gestió naturalística dels boscos de coníferes del Pirineu. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya, Solsona. 112 pp.
- Coello, J., Garcia, Q., Baiges, T. 2020a. Protocol de classificació visual de la qualitat de la fusta en peu de planifolis d'alt valor. Centre de la Propietat Forestal. Departament de Acció Climàtica, Alimentació y Agenda Rural. Centre de Ciència de Tecnologia Forestal de Catalunya. 25 pp.
- Coello, J., Piqué, M., Beltrán, M. 2020b. Usos de la fusta de frondosos d'alt valor a Catalunya. Centre de Ciència de Tecnologia Forestal de Catalunya, Solsona. 28 pp.
- Larrieu, L., Gonin, P. 2009. L'indice de biodiversité potentielle (IBP): une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. Rev. For. Fr. LX. 727-748
- Mori, P., Pelleri, F. (eds.). 2014. Silviculture for sporadic tree species. Extended summary of the technical manual for tree-oriented silviculture proposed by the LIFE+ project and PProSpOT. Compagnia delle Foreste, Arezzo. <http://www.pprospot.it/english-products.htm>
- Piqué, M., Castellnou, M., Valor, T., Pagés, J., Larrañaga, A., Miralles, M., Cervera, T. 2011. Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades. Sèrie: Orientacions de Gestió Forestal Sostenible per a Catalunya (OR-GEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. 130 pp.



Anexo 5. Artículo “Identificació d'arbres d'alt valor a bosc i dels seus competidors”

Identificació d'arbres d'alt valor a bosc i dels seus competidors

RESUM

Es presenten els principals criteris a tenir en compte a la identificació d'arbres d'alt valor, econòmic o ecològic, en el marc de la silvicultura orientada a l'arbre, a partir de l'experiència obtinguda de la seva aplicació en una vintena de rodals de formacions mediterrànies i la seva discussió amb experts.

Treball realitzat en el marc del projecte LIFE MixForChange, cofinançat per la Comissió Europea, amb la participació del Centre de la Propietat Forestal, el Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya i les associacions de propietaris de la Serra de Bellmunt-Collsacabra i del Montnegre i el Corredor.

EL CONTEXT: Silvicultura orientada a l'arbre per a potenciar la bioeconomia i la biodiversitat

El gran repte de la gestió forestal avui és compaginar l'obtenció de matèries renovables de llarga vida i de proximitat, la conservació de la biodiversitat i l'adaptació dels boscos al nou context climàtic. Al projecte LIFE MixForChange (mixforchange.eu) estem explorant l'enfocament de la **silvicultura orientada a l'arbre (SOA)** com una alternativa de gestió capaç de donar resposta a aquests tres objectius, especialment per als boscos mixtos, que representen la meitat dels boscos catalans.

La SOA situa l'objectiu de gestió en l'arbre individual o en petits grups d'arbres, en contraposició a altres models silvícoles que consideren la forest sencera com a objectiu de gestió. Se l'ubica en el marc de l'anomenada «silvicultura naturalística» o «propera a la natura», i es caracteritza per aclarides selectives suaus i periòdiques (Beltrán, 2020). En la seva aplicació no es prioritza el compliment estricte d'uns paràmetres a escala de rodal (AB, arbres/ha, etc.) com passa en altres models, sinó que el criteri de tallada prioritza el potencial de cada individu concret i els processos naturals que afavoreixen l'objectiu i vocació de cada rodal. Les aclarides se centren en l'eliminació d'arbres amb escàs potencial de millora i que exerceixen competència sobre arbres de més potencial, ja siguin grans, petits o fins i tot claps de regeneració.



Cirerer tallat per a taulons en un pati de logística, al Maresme.

L'ACTUACIÓ: Marcatge dels arbres de valor d'un rodal i els seus competidors

Atès que un dels fonaments d'aquesta silvicultura és alliberar de competència els individus de més valor potencial, el marcatge de la tallada cobra més importància. És necessari tenir un bon coneixement d'ecologia i dinàmica forestal i dels criteris que determinen la qualitat tecnològica i ecològica, present i futura dels arbres. Aquest factor és més rellevant a les primeres intervencions d'adaptació cap a aquest model, on el paper del personal gestor i operari al bosc és més determinant.

Per tal de facilitar aquest procés d'adaptació, resumim en aquesta fitxa els **principals criteris per a la identificació dels arbres de valor i dels seus competidors** que hem considerat amb experts i gestors amb experiència en la seva aplicació i que hem aplicat en una vintena de rodals de bosc mediterrani.

Què són els arbres d'alt valor?

Amb la nomenclatura d'«**arbres de valor**» designem aquells individus que tenen o poden arribar a tenir un especial interès

- des del punt de vista econòmic, perquè s'espera que la seva fusta es pugui destinar a productes d'alt valor afegit (els anomenats habitualment «arbres de futur»). Els arbres d'alt valor econòmic es tallen quan es preveu que ja no incrementaran més el seu valor amb el temps.
- des del punt de vista ecològic, pel seu rol al bosc o per la biodiversitat que poden acollir. Els arbres d'alt valor ecològic es mantenen indefinidament al rodal, ja que és la seva presència al bosc on rau el seu valor.

Un cop identificats, se'ls allibera de competència, per tal d'afavorir-ne el desenvolupament. Els arbres de valor es marquen amb esprai i, si és possible, se'n fa una caracterització individual. També es pot registrar la seva ubicació en GPS per facilitar les intervencions futures.

Identificació d'arbres d'alt valor ECONÒMIC

Són **individus que poden esdevenir arbres de grans dimensions** (diàmetre normal >40 cm) **amb una bona conformació** (canó recte, dret i oval, sense defectes visibles) **que permet contemplar un ús de valor afegit per a la seva fusta**: fullola, ebenisteria, bigam, boteria, torneria...

Dins d'aquesta categoria, destaquen els gèneres: *Juglans*, *Acer*, *Sorbus*, *Fraxinus*, *Prunus* i *Pyrus* (sovint com a individus d'espècies esporàdiques o acompanyants de l'espècie principal) i també els roures o el castanyer, entre d'altres.

Per facilitar-ne la identificació, en el marc del LIFE MixForChange, s'ha elaborat el «Protocol de classificació visual de la qualitat de la fusta en peu de planifolis d'alt valor» (Coello *et al.*, 2020). Inclou:

- Els criteris per considerar que un peu, jove o adult, es pugui identificar com a arbre amb potencial econòmic i una clau dicotòmica per facilitar-ne l'aplicació a camp,
- Una proposta per avaluar la qualitat global d'un arbre, en agregat la qualitat de les trosses.
- Una metodologia per caracteritzar l'abundància d'arbres de valor a nivell de rodal (fitxa d'inventari).

Els criteris acordats per a classificar un arbre com a «arbres de valor» són els següents:

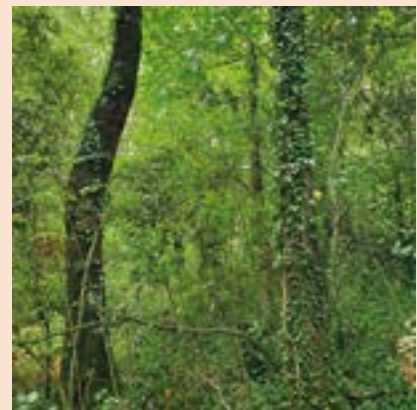
- **Arbres inferiors a CD10 (>7,5 cm de diàmetre):** no es tenen en compte com a arbres de valor fins que els fenòmens naturals de competència permetin diferenciar els arbres de més vigor i millorar-ne la conformació.
- **Arbres petits i intermedis (CD10 - CD25/30),** candidats per a aplicar-hi una silvicultura específica. Han de presentar:
 - ✓ alta vitalitat, capçada densa no comprimida verticalment; sense ferides ni podridures de rellevància;



Els arbres de CD<10 no es consideren arbres de valor fins que no estan ben diferenciats i la seva conformació és òptima.



Roure de CD 25 alliberat de competència fa 5 anys, que no ha respost com s'esperava al tenir una capçada poc vital i massa comprimida verticalment.



Arbre de curvatura excessiva (>3 cm/m), competidor d'un arbre classificat com d'alt valor.

✓ amb almenys una trossa (>250 cm o >120 cm si l'objectiu és boteria) sense branques vives de Ø>6 cm (roure) o >4 cm (altres espècies). Si l'arbre és de Ø<20 cm o els nusos i branques se situen a parts del tronc d'aquesta mida, es considera que no representen un problema per a un eventual aprofitament de qualitat de la seva fusta;

✓ trossa amb inclinació ≤10° i curvatura <3 cm/m.

- **Arbres intermedis i grans (CD25+):** són arbres que, o bé ja es poden aprofitar per l'ús de qualitat o que reuneixen les condicions per a esperar-ne aquest ús en un futur. Els requisits generals per destinar una trossa a les tres categories de qualitat més exigents (A, B i C, basades en les normes UNE/ISO), són:

	A: fullola, ebenisteria o boteria d'alta gamma	B: serra especial i primera: ebenisteria, boteria, bigam, torneria	C: serra segons: petit mobiliari, fusteria, parquet, bigam
Longitud de trossa sense branques (cm)	≥250 ≥120 boteria	≥300 ≥120 boteria ≥450 bigam	≥200 ≥450 bigam
Curvatura (cm/m)	≥2	≥4	≥2 bigam ≥10 resta
Ovalitat (D/d)	≥1,15	Sense límit	Sense límit
Diàmetre mitjà amb escorça (cm)	≥40 <i>Acer sp.</i> ≥45 resta	≥35 <i>Acer sp.</i> , cirerer ≥40 resta	≥30 roure ≥25 resta

Identificació d'arbres d'alt valor ECOLÒGIC

Són arbres amb un alt interès des del punt de vista de la biodiversitat, per presentar una o més de les característiques següents:

- **Arbres d'espècies protegides i/o poc representades** a la zona.
- **Arbres amb presència de microhàbitats d'interès per a determinades espècies:** singularitats que inclouen, entre d'altres, cavitats, deformacions que acumulen aigua, ferides de grans dimensions, grans branques seques, fongs de podriment de fusta, etc. Per a facilitar la identificació d'aquests microhàbitats, en el marc del projecte lifebior-gest.eu, s'ha traduït al català el [Catàleg Europeu de Microhàbitats](#) (Larrieu *et al.*, 2018) que podeu trobar a la pàgina web del Centre de la Propietat Forestal, en l'apartat relatiu a l'[Índex de Biodiversitat Potencial](#).
- **Arbres o grups de tanys amb alguna característica que sigui d'interès per factors socioculturals o per protecció física:** arbres de grans dimensions, grans productors de fruit comestible, amb una conformació singular o amb una gran capacitat per servir de refugi, ubicats en marges, torrents o punts d'elevat pendent...



Arbre marcat com a arbre de valor ecològic, en presentar singularitats d'interès per la fauna que, a més, impedeixen el seu ús comercial d'alt valor.

Identificació d'arbres competidors

Es consideren «competidors» d'un arbre de valor aquells peus que limiten l'expansió de la seva capçada i arrels. Això no sempre coincideix amb l'arbre més proper, sinó que cal observar bé la disposició i l'orientació de les capçades per indentificar quins arbres són competidors per la llum i quin grau de competència exerceixen. La competència d'arrels és més difícil d'avaluar, en tot cas es requereix conèixer la fisiognomis pròpia de les espècies en qüestió i les característiques generals del sòl.

L'eliminació d'aquests competidors ha de ser progressiva, començant per aquells que fa una competència més intensa però evitant de fer una posada dràstica en llum de l'arbre de valor que el pugui afectar negativament per un excés de transpiració o per la generació de brots epicòrmics (brots al llarg del tronc). Aquesta eliminació progressiva de la competència es pot aconseguir, també, mitjançant l'anellament de l'arbre.

En general, **se sol eliminar un o dos competidors per cada arbre de valor**. Degut al motiu exposat, l'arbrat situat prop de l'arbre de valor però que no competeix a nivell de capçada es respecta, ja que ajuda a mantenir un microclima favorable o ombreja el tronc. No obstant això, aquests arbres es poden aclarir puntualment si fan una competència molt intensa per l'aigua.

Quants arbres de valor hem de marcar?

No hi ha un nombre «ideal» d'arbres de valor per hectàrea, ja que això dependrà de les característiques i vocació del rodal i de la disponibilitat d'arbres que reuneixin els requisits indicats, però l'experiència de països on fa anys que s'aplica aquest tipus de silvicultura mostra que **identificar entre 75-150 arbres de valor per hectàrea (un cada 8-11 metres) pot ser un bon compromís en temps invertit de marcatge i rendibilitat final**. Si el bosc està molt capitalitzat n'hi haurà prou amb 75 peus de valor/ha, sobretot si els arbres de valor econòmic són de grans dimensions.

En canvi, **en les primeres tallades d'adaptació cap a aquest model el nombre d'arbres de valor sol ser superior**, sovint determinat pel tipus d'arbres disponibles (de menys qualitat que en rodals amb tradició en aquesta gestió), de la dinàmica de la massa (determinada pels usos anteriors i les fases silvogenètiques actuals) i fins i tot pel pes de la tallada, que fixa el nombre d'arbres a extreure (teòrics competidors). Per exemple, en una tallada d'adaptació al Montnegre d'un bosc amb una dinàmica de capitalització activa que es volia mantenir, centrada en arbres joves, es va decidir extreure $\frac{2}{3}$ del creixement previst pels propers 10 anys. D'acord amb la mida més comuna dels arbres codominants, es va estimar que això corresponia a l'extracció d'uns 350 arbres/ha. El criteri de tallada va ser, doncs, l'eliminació de 350 arbres/ha (un cada 5-6 metres) que fossin competidors d'un arbre de més valor, facilitant, així, la identificació dels arbres de valor que s'acabarà de concretar en properes intervencions.

COMENTARIS FINALS

- La identificació dels arbres de valor i els seus competidors requereix un esforç de capacitat del personal gestor i operari a bosc, sobretot en aquestes primeres intervencions de transformació de la massa cap a un nou concepte silvícola. En aplicacions futures, amb el personal més capacitat i les masses ja en transició, la identificació dels arbres de futur i dels seus competidors serà més senzilla, i el balanç econòmic s'espera més positiu en comparació a altres alternatives de gestió, al reduir-se el cost de les intervencions que requereixen inversió i augmentar la proporció de productes d'alt valor afegit.
- Per a què aquesta silvicultura tingui sentit és clau planificar amb antelació la logística de classificació i transport dels diferents productes generats en la tallada, actualment un coll d'ampolla en el qual el projecte LIFE MixForChange, de la mà de l'Associació de propietaris del Montnegre i el Corredor, hi està treballant i s'espera treure en breu un protocol per a la presa de decisions, en base a la seva experiència.

Referències

Baiges, T.; Palero, N. (2017) *Producció de fusta de qualitat en rouredes adultes gestionades per a llenyes*. Fitxa pràctica. Revista Silvicultura, núm. 75.

Beltran, M.; Cano, F.; Garitacelaya, J.; Piqué, M. (2020). *Manual de gestió naturalística dels boscos de coníferes del Pirineu*. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya, Solsona. 112 pp.

Coello, J.; Garcia, Q.; Baiges, T. (2020). *Protocol de classificació visual de la qualitat de la fusta en peu de planifolis d'alt valor*. <http://www.mixforchange.eu/>

Larrieu, L.; Paillet, Y.; Winter, S.; Büttler, R.; Krau, D.; Krumm, F.; Lachat, t.; Michel, AK.; Regnery, B.; Vandekerckhove, K. (2018). *Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization*. Ecological Indicators, 84: 194-207.

Autoria

Teresa Baiges i Noemí Palero (CPF)

Jaime Coello i Mario Beltrán (CTFC)



Aquesta fitxa ha estat elaborada en el marc del projecte LIFE MixForChange (LIFE15CCA/ES/000060), cofinançat per la UE i del projecte «Masses forestals mixtes per a l'adaptació dels boscos al canvi climàtic, foment de la biodiversitat i diversificació de la producció forestal», dins l'operació 01.02.01 del TT del PDR de Catalunya 2014-2020.



Anexo 6. Artículo “Silvicultura adaptativa al canvi climàtic per a la gestió multifuncional de boscos mixtos al Montseny (LIFE MixForChange)”

**Silvicultura adaptativa al canvi climàtic per a la gestió multifuncional de boscos
mixtos al Montseny (LIFE MixForChange)**

**Selvicultura adaptativa al cambio climático para la gestión multifuncional de bosques
mixtos en el Montseny (LIFE MixForChange)**

Jaime Coello Gómez¹, Eduardo Collado Coloma¹, Mario Beltrán Barba¹, Joan Rovira
Blanco², Noemí Palero Moreno³, Míriam Piqué Nicolau¹

¹ Programa de Gestió Forestal Multifuncional; Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de
Catalunya (CTFC)

² Gerència de serveis de d'Espais Naturals, Diputació de Barcelona

³ Àrea de Foment a la Gestió Forestal Sostenible, Centre de la Propietat Forestal

Resum

La gestió forestal adaptativa al canvi climàtic i amb criteris naturalístics permet aconseguir una sèrie d'objectius com ara l'increment de la vitalitat, la reducció de la vulnerabilitat a incendis, la conservació de la biodiversitat i la generació de productes fusters d'alt valor afegit. En el marc del projecte LIFE MixForChange (www.mixforchange.eu) s'han implementat tractaments silvícoles amb aquests criteris a 40 ha (7 rodals) de boscos mixtes d'alzinar, castanyeda, roureda i pineda, al Montseny. En aquest treball es mostren els criteris tècnics d'aquesta silvicultura i els resultats de la seva aplicació després de 2 o 3 períodes vegetatius. Aquesta silvicultura innovadora permet millorar els principals indicadors d'adaptació al canvi climàtic, preservar la biodiversitat i millorar el potencial del bosc per produir fusta d'alta qualitat a mig termini.

Paraules clau: Canvi climàtic, silvicultura, bosc mixt, resiliència, LIFE

Resumen:

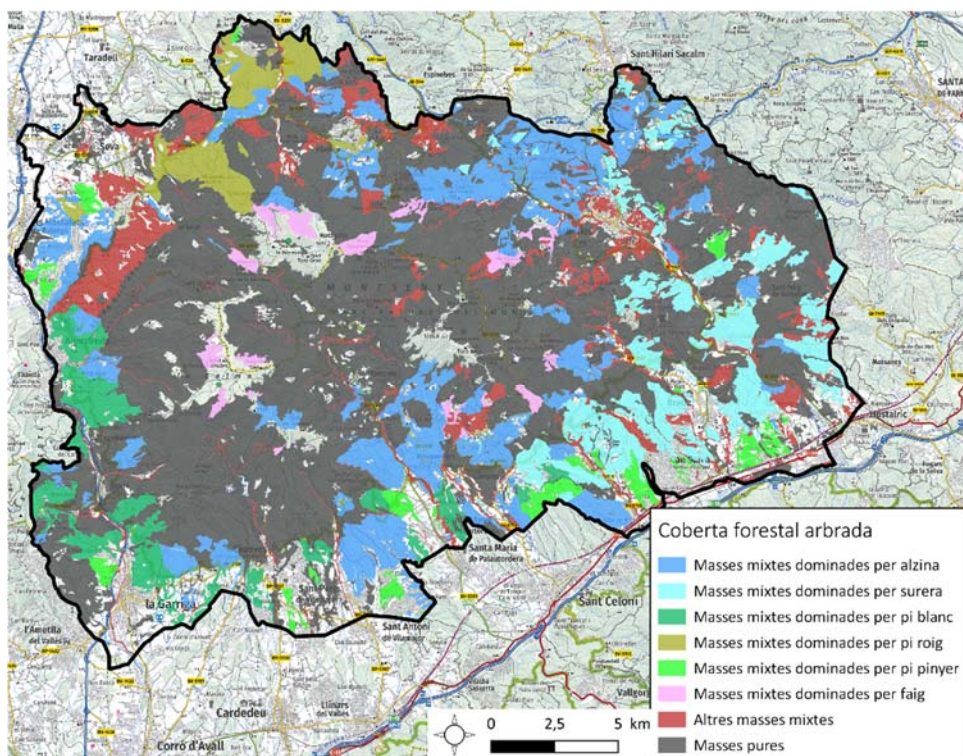
La gestión forestal adaptativa al cambio climático y con criterios naturalísticos permite conseguir varios objetivos: incrementar la vitalidad del bosque, reducir su vulnerabilidad a incendios, conservar la biodiversidad y generar productos madereros de alto valor añadido. En el marco del proyecto LIFE MixForChange (www.mixforchange.eu) se han implementado tratamientos selvícolas con estos criterios en 40 ha (7 rodales) de bosques mixtos de encinar, castañar, robledal y pinar, en el Montseny. En este trabajo se muestran los criterios técnicos de esta selvicultura y los resultados de su aplicación después de 2 o 3 periodos vegetativos. Esta selvicultura innovadora permite mejorar los principales indicadores de adaptación al cambio climático, preservar la biodiversidad y mejorar el potencial del bosque para producir madera de alta calidad a medio plazo.

Palabras clave: Cambio climático, selvicultura, bosque mixto, resiliencia, LIFE

1. Introducció

1.1. Els boscos mixtes al Montseny

Els boscos de la Reserva de la Biosfera del Montseny es caracteritzen per la seva diversitat, amb 41 espècies forestals que es poden trobar amb certa rellevància en superfície, i algunes addicionals més esporàdiques. El 42% dels boscos són mixtos, és a dir, que presenten més d'una espècie que aporta, almenys, el 20% de l'àrea basal total. Les principals formacions forestals mixtes són les dominades per alzina (barrejada principalment amb surera, pi pinyer, castanyer, pi blanc i roures) amb 6.763 ha, seguides de les dominades per surera (amb alzina, pi pinyer i arboç, principalment) amb 3.261 ha i de les dominades per pi blanc (amb alzina i pi pinyer principalment) amb 2.058 ha. El Mapa 1 mostra la distribució dels boscos mixtos segons l'espècie dominant al Montseny.



Mapa 1. Coberta forestal arbrada segons les principals formacions mixtes en base al Mapa Forestal d'Espanya (DGDRPF, 2016), a l'àmbit de la Reserva de la Biosfera del Montseny.

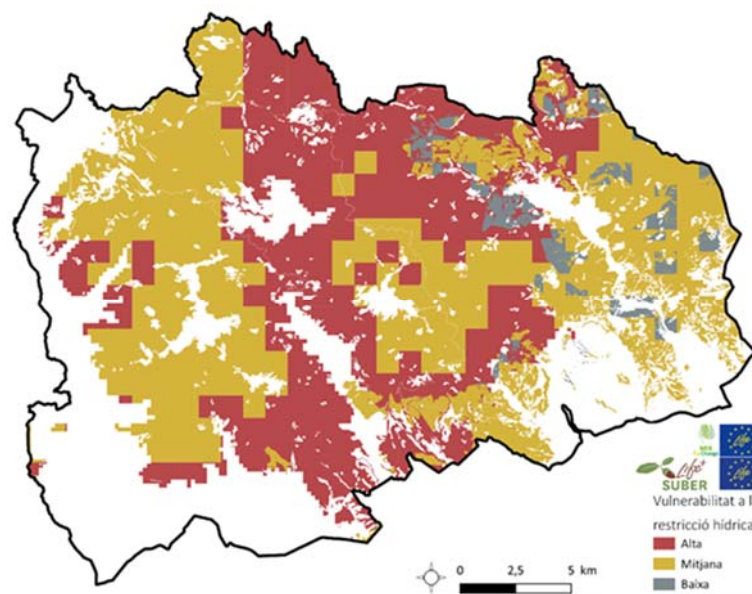
1.2. Vulnerabilitat d'aquests boscos al canvi climàtic

Algunes de les principals particularitats que presenten en general les masses forestals mixtes del Montseny, comunes a les d'altres condicions mediterrànies subhúmedes, són:

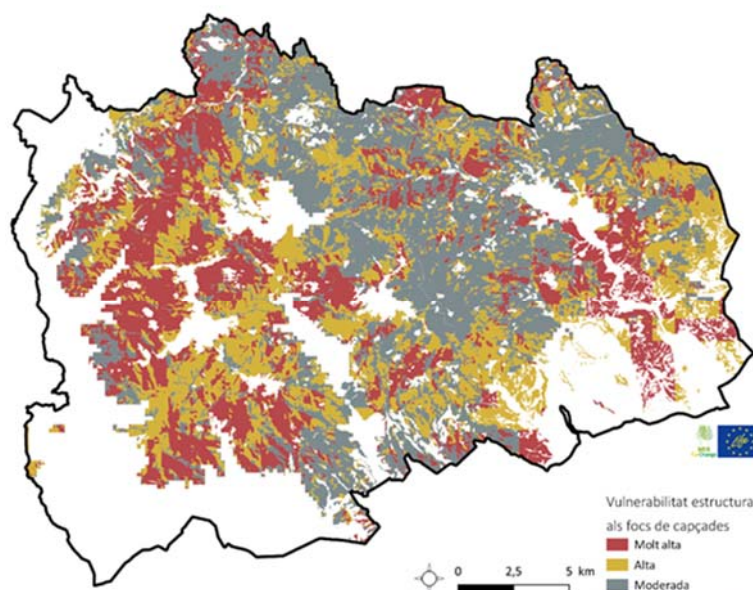
- Moltes de les espècies presents, i especialment les esporàdiques, estan poc adaptades a la sequera i als incendis.
- Densitat predominantment excessiva, la qual dona lloc a una reducció de la vitalitat i a un increment de la vulnerabilitat a la sequera i als incendis.

- Tot i que aquests boscos varen ser objecte d'explotació intensa durant segles, en molts casos es va donar un abandonament sobtat fa dècades, mentre que els que s'han mantingut en producció ho fan sovint amb un ús molt simplificat i enfocat a l'obtenció de productes de baix valor afegit com ara les llenyes o la fusta per a biomassa o trituració.
- Relleu accidentat, amb una forta diversitat de condicions productives i ecològiques a petita escala, la qual resulta en un mosaic d'estructures, formacions forestals i potencialitats productives.
- Presència d'espècies i hàbitats d'alt interès des del punt de vista de la conservació i coexistència de diverses figures administratives i de protecció (Reserva de la Biosfera, Parc Natural, Xarxa Natura 2000, entre d'altres), amb un percentatge decreixent de la població dedicada a activitats agrícoles, ramaderes i silvícoles.
- Condicions sovint periurbanes, amb una forta demanda de serveis ecosistèmics (paisatge, protecció de sòls, qualitat i quantitat d'aigua, ús públic, productes locals, feina associada al turisme) i una alta freqüentació, que contrasten amb una escassa integració de la gestió d'aquestes masses en la política territorial.

Com a conseqüència d'aquests factors, molts d'aquests boscos es caracteritzen per una alta vulnerabilitat als impactes del canvi climàtic, entre els quals destaquen la sequera (Mapa 2) i els incendis (Mapa 3).



Mapa 2. Vulnerabilitat del Massís del Montseny a la sequera: increment de la diferència entre l'evapotranspiració potencial i la precipitació estimada segons un escenari de canvi climàtic. Font: Life Suber (2017) i Life MixForChange (2019).



Mapa 3. Vulnerabilitat estructural dels boscos del Montseny al foc de capçades. Comportament del foc obtingut per simulació amb escenaris meteorològics adversos i característiques de l'estructura forestal segons dades LiDAR. Font: Life MixForChange (2019).

1.3. El projecte LIFE MixForChange

El projecte LIFE MixForChange (2016-2022 – www.mixforchange.eu) té com a objectiu principal contribuir a l'adaptació i la resiliència dels boscos mixtos del mediterrani subhumit català al canvi climàtic, tot afavorint la seva conservació i el manteniment de les seves funcions productives i socials. Aquest projecte té com a socis beneficiaris el CTFC (coordinador), el CPF i les Associacions de Propietaris Forestals del Montnegre Corredor (APMC) i de Bellmunt – Collsacabra (APFSBE). En el marc d'aquest projecte s'ha dissenyat, implementat i avaluat una silvicultura innovadora en 197 ha d'alzinars, castanyedes, rouredes i pinedes dels massissos del Montnegre - Corredor, Montseny, Bellmunt - Collsacabra i sud del Ripollès.

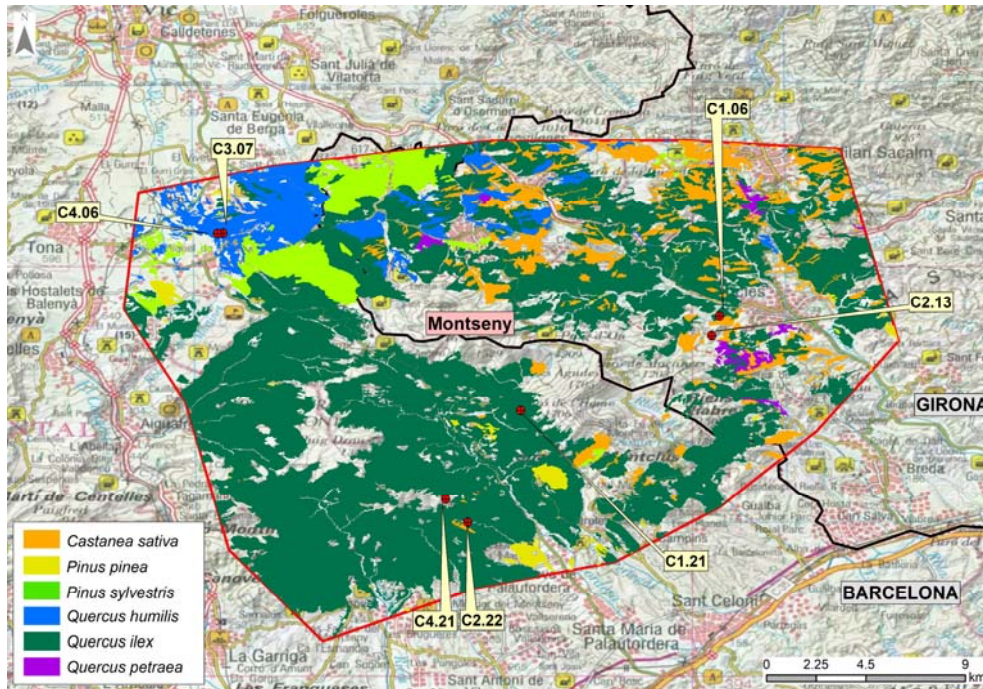
2. Objectius

L'objectiu d'aquesta comunicació és presentar la silvicultura innovadora aplicada a l'àmbit del Montseny en el marc del projecte LIFE MixForChange, i els resultats obtinguts a curt termini sobre indicadors d'estructura forestal i d'adaptació al canvi climàtic: vitalitat, biodiversitat, vulnerabilitat a incendis forestals i humitat del sòl.

3. Metodologia

3.1. Àrea de treball MixForChange al Montseny

En el massís del Montseny els treballs silvícoles del projecte LIFE MixForChange s'han aplicat en 7 rodals, amb un total de 40 ha d'actuació durant l'aturada vegetativa de 2017-2018 o de 2018-2019 (Mapa 4). Aquests rodals inclouen les quatre tipologies de bosc del projecte: alzinars (8 ha d'actuació en 2 rodals), castanyedes (15 ha en 2 rodals), roureda de roure martinenc (5 ha en 1 rodal) i pineda de pi roig (12 ha en 2 rodals).



Mapa 4. Distribució dels rodals demostratius del projecte LIFE MixForChange al Montseny. Els rodals C1.06, C2.13, C3.07 i C4.06 són rodals d'actuació del projecte, mentre que C1.21, C4.21 i C4.22 són rodals de replicació implementats per la Diputació de Barcelona.

3.2. Descripció de la silvicultura aplicada

La silvicultura aplicada al MixForChange cerca els següents objectius:

- Incrementar la vitalitat i l'estabilitat individual i col·lectiva.
- Incrementar la complexitat d'estructures i d'espècies.
- Reduir la vulnerabilitat estructural a incendis forestals.
- Promoure la producció de fusta de qualitat.

Les línies mestres de l'aplicació de la silvicultura MixForChange sobre el terreny són:

- allà on hi ha arbres d'alt interès econòmic (arbres ben conformats d'espècies productores de fusta de qualitat) o ecològic (espècies poc abundants, arbres amb microhàbitats d'interès per a la biodiversitat): es fan aclarides selectives al seu voltant, amb la tallada d'un o dos competidors de l'arbre d'interès. La identificació dels arbres competidors més prioritaris d'eliminar es fa mirant les capçades; és a dir, s'eliminen prioritàriament aquells arbres que suposen un impediment més clar a l'expansió de la capçada de l'arbre d'alt interès.

S'identifiquen un màxim de 150 arbres d'alt interès per hectàrea.

- a la resta de l'estrat arbori es fan aclarides mixtes d'intensitat moderada (extracció del 20-30% de l'àrea basal), seguint els models silvícoles ORGEST per a estructures irregulars i amb ajustaments propis de cada formació forestal (Piqué et al., 2017). En aquesta intervenció es mira de mantenir la diversitat d'espècies existents, parant atenció a fomentar els peus més vitals i vigorosos però mantenint uns 5-10 arbres morts per hectàrea, en peu i al terra. També es fan seleccions de tanys en soques envellides per promoure la regeneració sexual, per tal de revitalitzar la massa, i també es tallen arbres baixos que donen continuïtat vertical al combustible en cas d'incendi.
- a l'estrat arbustiu es fan estassades parcials (respectant un 25-30% de la cobertura) i selectives: es mantenen les espècies més escasses, de més alt interès per a la fauna i menys piròfiles. S'eliminen, per tant, els matollars més alts i també es fan seleccions de tanys en les soques més desenvolupades de bruc, arboç o marfull, per limitar el seu rebrot.

La silvicultura aplicada incorpora, per tant, criteris propis de la silvicultura adaptativa al canvi climàtic (la qual cerca incrementar la resistència i resiliència del bosc davant els principals impactes: sequera, tempestes, incendis forestals, plagues, malalties) i també criteris de silvicultura naturalística o "propera a la natura". Aquest concepte es caracteritza per fer-hi intervencions silvícoles detallades, de baixa intensitat i mirant d'aprofitar les dinàmiques naturals que siguin favorables als objectius de la gestió a petita escala, els quals poden incloure la sostenibilitat econòmica de la gestió i la promoció dels valors de conservació de la biodiversitat. La Taula 1 mostra la relació entre els objectius de la gestió, la intervenció silvícola aplicada i els efectes buscats.

Taula 1. Síntesi de la silvicultura MixForChange: relació entre els objectius de la gestió, els mètodes silvícoles aplicats i els efectes buscats.

Objectiu	Mètode	Efecte
Incrementar la vitalitat i l'estabilitat individual i col·lectiva	Aclarides selectives i mixtes Estassades parcials	Més resistència als impactes del canvi climàtic
Incrementar la complexitat d'estructures i d'espècies	Aclarides selectives i mixtes Estassades selectives	Més biodiversitat Més resiliència al canvi climàtic
Reduir la vulnerabilitat estructural a incendis forestals	Aclarides selectives i mixtes Estassades selectives i parcials	Menys vulnerabilitat a incendis
Promoure la producció de fusta de qualitat	Aclarides selectives	Fomentar la sostenibilitat econòmica de la gestió

3.3. Seguiment dels efectes de la silvicultura aplicada

Per caracteritzar la silvicultura aplicada i els seus efectes sobre una sèrie d'indicadors clau s'ha instal·lat una xarxa de 17 parcel·les permanents de seguiment.

Entre elles, hi ha 12 parcel·les de seguiment silvo-dasomètric, amb 3 parcel·les per formació. Aquestes parcel·les tenen un radi de 10-12 m i es fa en elles un seguiment peu a peu en tres moments diferents: abans de l'actuació silvícola, immediatament després d'aquesta i a la tardor de 2020, és a dir, dos o tres períodes vegetatius després de l'actuació silvícola. Les dades d'una d'aquestes parcel·les, ubicada en una pineda, es varen descartar de l'estudi degut a l'alteració fortuïta de la parcel·la durant les tasques de desembosc. A més, d'aquestes 12 parcel·les, hi ha un subgrup de 5 parcel·les (una a cada tipologia, excepte en alzinar, a on n'hi ha dues) en el qual s'ha fet un seguiment addicional sobre una sèrie de variables ecològiques. Cadascuna d'aquestes parcel·les de seguiment ecològic porta associada una parcel·la addicional "control" (5 en total), ubicades a condicions anàlogues del rodal, però a una zona que s'ha deixat sense intervenir. A l'igual que en el seguiment silvo-dasomètric, al llarg de l'estudi s'han hagut de descartar les dades provinents d'una de les parcel·les d'alzinar, de castanyer i de roureda, degut als danys causats pel temporal Glòria (gener 2020) o per l'alteració fortuïta d'una parcel·la de seguiment ecològic. La Taula 2 mostra el conjunt de variables mesurades a les parcel·les de seguiment silvo-dasomètric i ecològic, i també l'avaluada a escala de rodal complet, aplicada a quatre rodals, un per formació. La descripció completa dels protocols de seguiment es mostren a la web del projecte LIFE MixForChange: www.mixforchange.eu/ca/documentacio-i-productes.

Taula 2. Descripció de les variables preses a les parcel·les de seguiment silvo-dasomètric i ecològic al Montseny.

Tipus seguiment	Variables (mètode)
Silvo-dasomètric (12 parcel·les d'actuació; dades analitzades a 11 parcel·les)	Arbrat: espècies, diàmetre normal, estrat social, alçada total i dominant, densitat, àrea basal, volum amb escorça Sotabosc: espècies, recobriment (%), alçada (m) Vulnerabilitat a incendis: vulnerabilitat estructural al foc de capçades (TVFoC; Piqué et al., 2011)
Ecològic (5 parcel·les d'actuació + 5 control: dades analitzades a 2+2 parcel·les)	Creixement d'arbres seleccionats (dendròmetres) Humitat del sòl (sondes d'humitat de mesura contínua)
Pericial (avaluació a escala de rodal; 4 rodals)	Biodiversitat: Índex de Biodiversitat Potencial (IBP; Baiges et al., 2018)

4. Resultats

4.1. Caracterització silvo-dasomètrica de les intervencions

La Taula 3 mostra l'efecte de la intervenció silvícola sobre les principals variables silvo-dasomètriques de cada formació.

Taula 3. Resum dels valors de les principals variables silvo-dasomètriques abans de l'actuació ("Pre") i després de l'actuació ("Post"), a cada formació. Entre parèntesi es mostra la desviació estàndard. Dades corresponents a 3 parcel·les per formació excepte a la pineda, a on hi ha 2 parcel·les.

Formació	Alzinar	Castanyeda	Roureda	Pineda
----------	---------	------------	---------	--------

Inventari	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Densitat (peus/ha)	1.054 (169)	709 (95)	1.369 (191)	1.071 (175)	1.528 (127)	934 (67)	1.512 (338)	923 (0)
Àrea basal (m ² /ha)	23,5 (5,3)	19,0 (4,7)	24,2 (6,7)	20,3 (5,8)	35,6 (5,6)	25,5 (4,0)	39,3 (10,0)	30,6 (14,5)
AB espècie principal (%)	58 (27)	49 (25)	93 (9)	91 (12)	31 (24)	42 (26)	54 (36)	40 (56)
Diàmetre mitjà (cm)	16,1 (1,6)	17,3 (2,4)	11,8 (2,1)	13,4 (1,9)	14,5 (1,7)	15,1 (0,8)	15,0 (3,3)	17,5 (3,5)
Alçada dominant (m)	14,1 (3,8)	14,8 (4,9)	14,0 (0,1)	14,1 (0,1)	16,3 (1,9)	16,1 (1,6)	16,2 (4,9)	16,6 (4,3)

Les intervencions silvícoles han donat lloc a una reducció mitjana de l'àrea basal d'entre el 16% (castanyeda) i el 28% (roureda) i per tant se situen prop dels rangs planificats del 20-30% d'intensitat. Quant a la densitat, la reducció ha estat en torn al 20% (castanyeda), 30% (alzinar) i 40% (roureda i pineda). Es pot interpretar que la intensitat de l'actuació ha estat especialment baixa sobre la castanyeda, però les xifres han estat afectades per l'alta presència de peus morts en aquestes parcel·les, l'eliminació dels quals no es té en compte al càlcul d'aquests indicadors. Si es consideren la densitat i àrea basal dels arbres morts en aquests càlculs, la reducció de l'àrea basal en castanyedes arribaria al 35% i la reducció de la densitat al 45%.

En relació amb la diversificació de les masses, expressada com la reducció de l'àrea basal de l'espècie principal respecte l'àrea basal total, s'observa un resultat diferent en funció de la situació de partida: en les castanyedes, a on l'espècie principal era clarament predominant (93% de l'àrea basal total) només s'ha baixat la seva representació al 91% de l'àrea basal total. Com s'ha descrit prèviament, aquesta xifra està molt influenciada per la importància del criteri sanitari de la tallada, de manera que, si s'haguessin considerat en aquests càlculs els arbres morts, l'àrea basal del castanyer hauria passat 95% al 89%. A les rouredes, masses molt mixtes a on l'espècie principal només aportava un terç de l'àrea basal total, la proporció de roures ha arribat a incrementar-se fins el 42%, degut a que la promoció d'arbres d'alt interès ha donat lloc a una selecció en favor de molts roures per produir fusta de qualitat o pel seu interès per a la biodiversitat. Per últim, en alzinars i pinedes, que partien d'una predominança intermèdia de l'espècie principal (55-60%) el valor ha estat reduït al 40-50%, en línia amb el què s'havia planificat de manera general.

Pel que fa a l'estructura de la massa, les actuacions han permès mantenir una estructura irregular o semiregular, que manté la pràctica totalitat dels individus de més grans dimensions (Figura 1), a més d'haver-se incrementat el diàmetre mitjà de la massa (un 10% de mitjana) tot mantenint estable l'alçada dominant (Taula 3). Per tant, aquestes actuacions han establert les bases per a la capitalització futura de la massa.

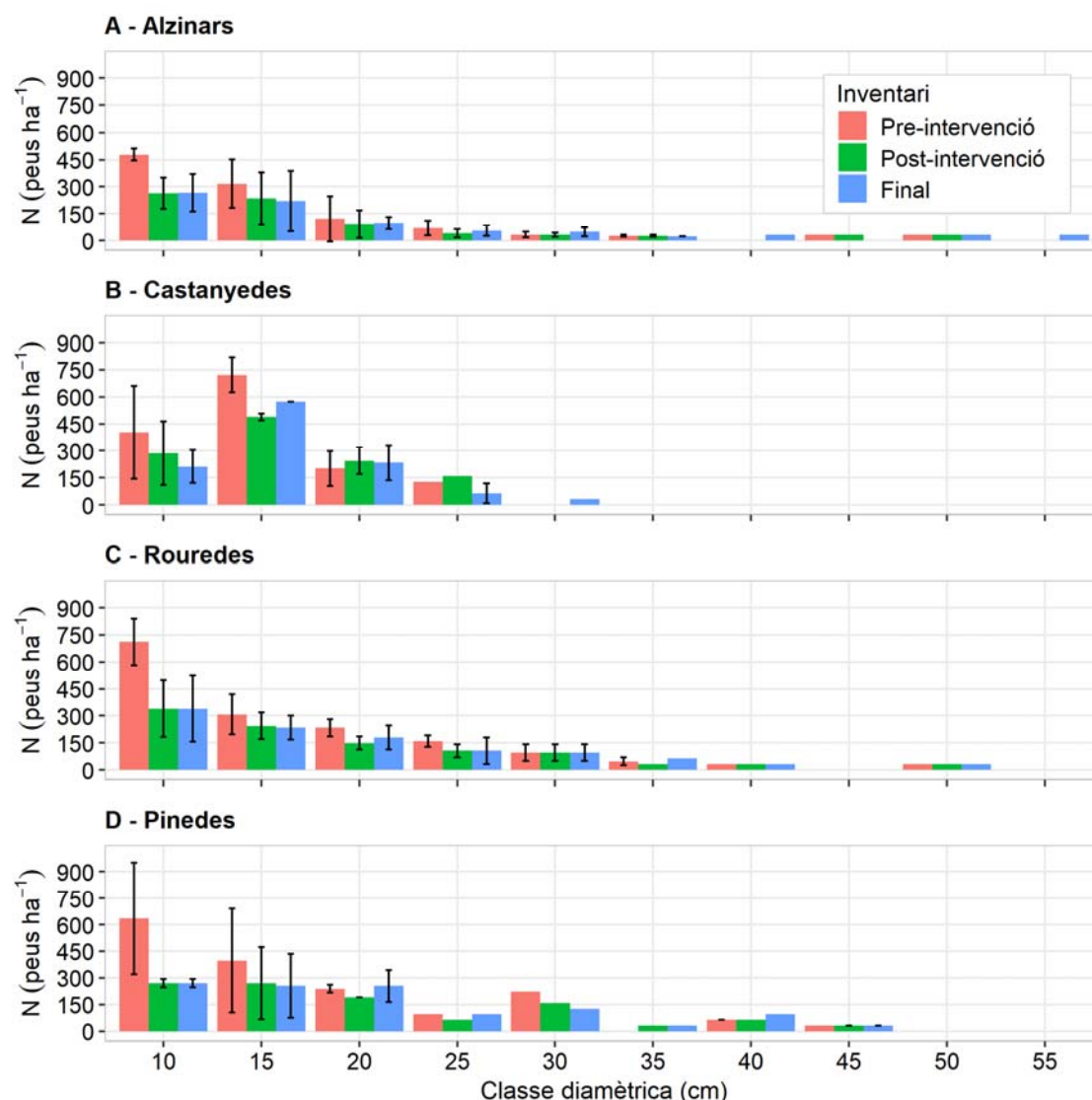


Figura 1. Evolució de la distribució diametral de les formacions (de dalt a baix: alzinars, castanyedes, rouredes, pinedes) del Montseny just abans de l'actuació ("Pre"), just després ("Post") i al cap de 2-3 anys després de la intervenció ("Final"). Les dades corresponen a 3 parcel·les per formació, excepte en el cas de les pinedes, a on hi ha 2 parcel·les.

Per últim, l'efecte de les actuacions sobre el sotabosc ha estat una reducció de la seva alçada, mentre que l'impacte sobre el seu recobriment, especialment en el cas d'alzinars i castanyedes, ha estat poc significatiu, degut al rebrot de les espècies principals (dades no mostrades).

4.2. Vitalitat

L'efecte de l'actuació silvícola sobre la vitalitat de la massa s'ha avaluat comparant les taxes de creixement, en parcel·les intervingudes i en les parcel·les control properes, de l'espècie principal i de l'espècie acompanyant més abundant. Tot i haver estat intervencions

d'intensitat continguda, la reacció dels arbres ha estat molt evident, amb un increment notable de la taxa de creixement en diàmetre (Figura 2). En pinedes, el creixement anual tant del pi com del roure s'ha triplicat gràcies a l'actuació, en comparació amb els arbres control. La reacció dels arbres a l'actuació ha estat més marcada del què estava previst, ja que és habitual que els arbres necessitin entre 2 i 5 anys per reaccionar a les aclarides. Les baixes taxes de creixement de les parcel·les control confirmen que la situació inicial d'aquestes masses era d'una competència excessiva.

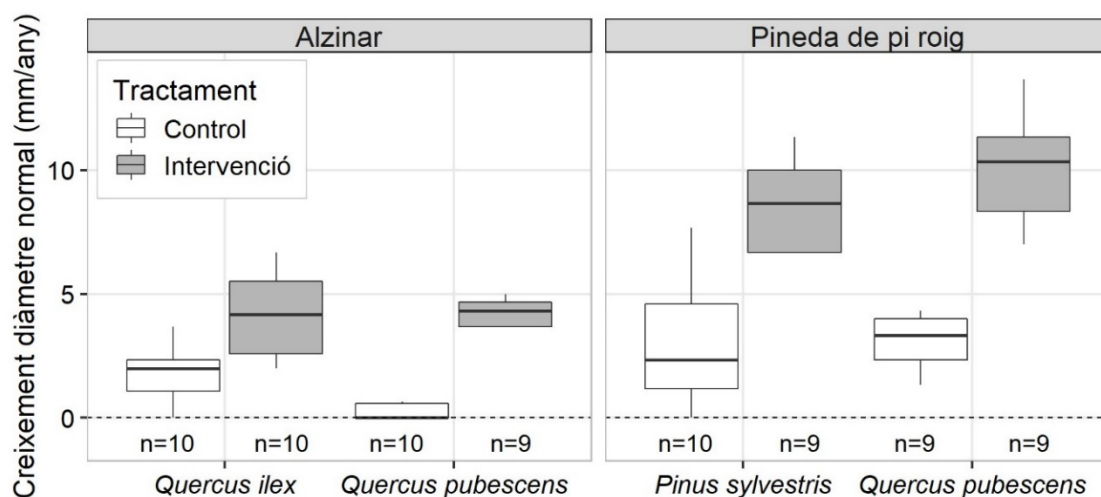


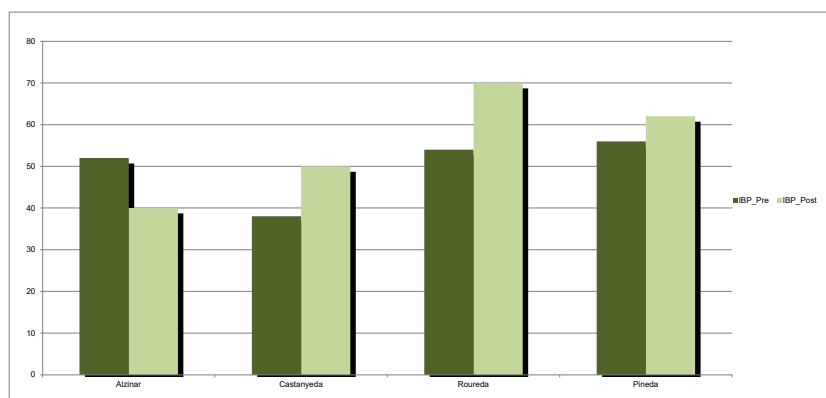
Figura 2. Creixement en diàmetre dels arbres de l'espècie principal i de l'espècie acompanyant més abundant, en parcel·les de seguiment ecològic (2 per tipologia) a on s'ha aplicat la silvicultura MixForChange ("Intervenció") i no tractades ("Control").

Un altre efecte de la silvicultura aplicada sobre la vitalitat està relacionada amb l'alta selectivitat de les intervencions, la qual ha permès eliminar arbres de baix vigor i morts, sobretot a les castanyedes, mirant de millorar l'estat sanitari general (dades no mostrades).

4.3. Biodiversitat

Els efectes dels tractaments sobre la biodiversitat s'expressen a través de l'evolució, abans i després de les actuacions i al cap de 2-3 anys, d'un indicador indirecte: l'Índex de Biodiversitat Potencial (Baiges *et al.*, 2018). Aquest indicador està relacionat amb la capacitat d'un ecosistema forestal d'acollir biodiversitat en base a una sèrie de paràmetres físics (relleu, orografia, continuïtat temporal del bosc, ambients aquàtics i rocosos) i de paràmetres silvícoles (estructura vertical de la vegetació, espais oberts, arbres vius grans, fusta morta gran en peu i al terra). Amb la silvicultura es pot incidir sobre aquest segon grup de paràmetres. Com més capacitat té un bosc d'acollir biodiversitat, l'IBP hauria d'assolir una puntuació més alta. Els resultats de l'aplicació d'aquest índex (Gràfica 1) mostren com les actuacions han donat lloc a una lleugera millora a la castanyeda, roureda i pineda,

especialment degut a l'increment de la quantitat de fusta gran morta al terra i a l'obertura d'espais. Només l'alzinar mostra una petita davallada, degut a la reducció de la fusta gran morta en peu.



Gràfica 1. Índex de Biodiversitat Potencial abans i després de les intervencions silvícoles. Les dades corresponen a un rodal per formació.

A més, s'ha avaluat l'evolució del nombre total d'espècies arbòries i de matollar al llarg de l'estudi, sense haver-se trobat un impacte rellevant de les actuacions (dades no mostrades).

4.4. Vulnerabilitat a incendis forestals

L'efecte de les actuacions silvícoles sobre la vulnerabilitat a incendis forestals s'ha avaluat amb les tipologies de vulnerabilitat estructural al foc de capçades o TVFoC (Piqué et al., 2013). Aquests tipologies es basen en l'estudi de la vegetació com a combustible, diferenciant-ne tres estrats: combustible de superfície (mida baixa); combustible aeri (capçades) i combustible d'escala (ubicat entre els altres dos, és a dir, aquell que pot propagar un foc de superfície fins fer-lo arribar a les capçades). TVFoC relaciona el recobriment, les dimensions i la continuïtat de cadascun d'aquests tipus de combustible, i també les distàncies entre ells, i es generen 3 possibles valors de vulnerabilitat estructural a focs de capçades: A (vulnerabilitat alta), B (intermèdia) i C (baixa).

La Figura 3 mostra com les actuacions han tingut un efecte immediat en la reducció de la vulnerabilitat a focs de capçades, si bé l'evolució de les masses des del moment de la intervenció (inventari post) fins a l'inventari final (2 o 3 anys després) varia segons cada tipologia de bosc (Figura 3): als alzinars i castanyedes es dona un increment de la vulnerabilitat fins tornar a una situació pràcticament semblant a l'inicial, degut principalment al rebrot de les espècies dominants. En canvi, en el cas de la roureda i la pineda, la vulnerabilitat es continua reduint amb el temps, gràcies a l'assentament progressiu de les restes de tallada i a la seva degradació incipient.

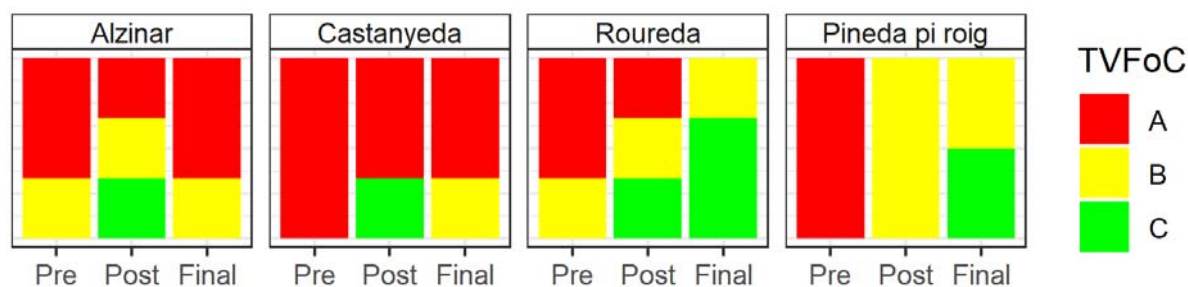


Figura 3. Evolució de la vulnerabilitat estructural a focs de capçades (A: vulnerabilitat alta; B: intermèdia; C: baixa), abans de l'actuació (Pre), immediatament després d'aquesta (Post) i al cap de 2 o 3 períodes vegetatius (Final). Les divisions horitzontals de les barres mostren la proporció de parcel·les a cada categoria de vulnerabilitat, dins de cada tipologia de bosc.

4.5. Humitat del sòl

L'evolució de la humitat del sòl durant 2,5 anys, en parcel·les de seguiment ecològic intervingudes i no intervingudes (Figura 4), mostra com l'actuació dona lloc a un increment de la humitat del sòl en la pineda, especialment després de períodes de baixa precipitació (estiu 2020). A l'alzinar la tendència és més incerta, probablement lligada als danys causats per la fauna salvatge a les sondes i al seu cablejat, que poden haver alterat les lectures.

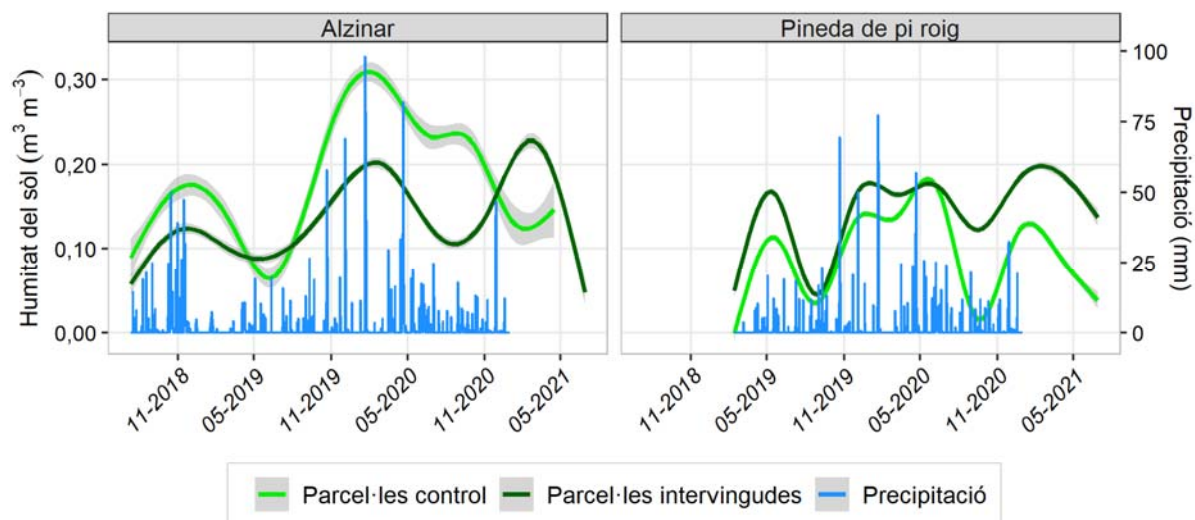


Figura 4. Evolució de la humitat del sòl i la precipitació entre tardor 2018 i estiu 2021 en parcel·les de seguiment ecològic (2 per tipologia, una actuada i l'altra sense actuar - control).

5. Conclusions

Aquesta comunicació ha mostrat els efectes a curt termini d'una primera aplicació d'una silvicultura innovadora (amb criteris d'adaptació al canvi climàtic, criteris naturalístics i d'arbre individual) sobre l'estructura forestal i sobre indicadors d'adaptació a 40 ha (7 rodals) de bosc mixte d'alzinar, castanyeda, roureda i pineda al Montseny.

Els tractaments silvícoles s'han adequat en general al tipus d'actuació planificada, la qual es caracteritza per la seva selectivitat i per una intensitat moderada o intermèdia (àrea basal extreta: 16-28%) per evitar trencar les dinàmiques i el microclima del bosc però generant un canvi favorable quant a l'estructura i diversitat d'espècies als rodals.

El grau d'acompliment dels objectius de la gestió ha estat, en termes generals, favorable, als 2 o 3 anys després de l'actuació:

- a) Incrementar la vitalitat i l'estabilitat individual i col·lectiva: aconseguit, com mostra l'increment de la taxa de creixement dels arbres de les parcel·les actuades en relació amb les no actuades, i gràcies a l'eliminació de molts arbres de baixa vitalitat i vigor.
- b) Incrementar la complexitat d'estructures i d'espècies: l'estructura irregular o semiregular de les masses s'ha mantingut, i s'han marcat les bases per continuar avançant cap a masses més capitalitzades i diverses, gràcies a l'increment del diàmetre mitjà, al manteniment generalitzat dels arbres de més gran diàmetre i de les espècies arbòries i de sotabosc presents. També s'han creat discontinuïtats verticals i horitzontals.
- c) Reduir la vulnerabilitat estructural a incendis forestals: aconseguit en rouredes i pinedes, amb una clara davallada de la vulnerabilitat estructural al foc de capçades; a alzinars i castanyedes la millora ha estat temporal i/o parcial.
- d) Promoure la producció de fusta de qualitat: no ha estat avaluat en aquesta comunicació.

Per últim, val a dir que els resultats d'aquesta silvicultura s'han d'avaluar en base a la seva aplicació reiterada, i al seguiment basat en les parcel·les permanents instal·lades. La primera intervenció es pot considerar, en molts casos, com a una intervenció de transició per preparar les masses per a aplicacions successives d'aquesta silvicultura, les quals haurien d'aconseguir assolir els objectius marcats, especialment pel que fa a la complexitat d'estructures i espècies i a la producció de fusta de qualitat. Aquest és especialment el cas del castanyer, a on la intervenció aplicada ha consistit en gran mesura en tallar una part important dels peus morts, per posar en llum els arbres i espècies més vitals.

6. Per a més informació

Aquesta comunicació ha resumit els efectes de la silvicultura MixForChange a l'àmbit del Montseny. A la web del projecte (www.mixforchange.eu) es poden consultar els resultats globals d'aquesta silvicultura aplicada a 197 ha en quatre massissos catalans, i també altres eines relacionades amb la silvicultura adaptativa i naturalística i també aspectes normatius i logístics que afecten la gestió del bosc mediterrani subhumit, entre les quals destaquen:

- Guia de silvicultura adaptativa i naturalística del bosc mediterrani sub-humit (2022).
- Sistema pilot de logística i comercialització de productes forestals (2022).

- Guia de polítiques locals, canvi climàtic i gestió forestal en boscos periurbans: una integració necessària (2021, [enllaç](#)).
- Cas real d'integració de l'adaptació al canvi climàtic dels boscos mixtos mediterranis subhumits en les polítiques locals: Ajuntament de Mataró (2021; [enllaç](#)).
- Protocol de classificació visual de la qualitat de la fusta en peu de planifolis d'alt valor (2020; [enllaç](#)).
- Guia d'usos de la fusta de frondoses d'alt valor a Catalunya (2020; [enllaç](#)).
- Cartografia de caracterització de la vulnerabilitat davant el canvi climàtic dels boscos mixtos mediterranis subhumits (2019; [enllaç](#)).
- Articles, informes, protocols, pòsters, presentacions i xerrades amb la descripció de la silvicultura aplicada i dels seus efectes dasomètrics, ecològics i socioeconòmics ([enllaç](#))

7. Agraïments

Projecte LIFE MixForChange (LIFE15CCA/ES/000060), finançat pel programa LIFE de l'UE; projecte «Masses forestals mixtes per a l'adaptació dels boscos al canvi climàtic, foment de la biodiversitat i diversificació de la producció forestal», dins l'operació 01.02.01 del TT del PDR de Catalunya 2014-2020; Josep Argemí (Gerència de serveis de d'Espais Naturals, Diputació de Barcelona); Serena Buscarini, Eduard Busquets, Lluís Coll, Carla Fuentes, Henriette Gercken, Lucas Moura, Sònia Navarro (CTFC), E2Estudis Enginyeria Forestal, SL.

Bibliografia

BAIGES, T.; PALERO, N.; CERVERA, T. (2018): *L'Índex d'Avaluació de la Biodiversitat Potencial dels Boscos de Catalunya (IBPC). Què és i com es calcula?* A: TUSELL, J.M.; BELTRÁN, M. (eds.). XXXV Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera. Consorci Forestal de Catalunya. Santa Coloma de Farners. Pàg. 44-50.

DGDRPF. (2016): Mapa Forestal de España. Escala 1:25.000. DG Desarrollo Rural y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

PIQUÉ, M.; CASTELLNOU, M.; VALOR, T.; PAGÉS, J.; LARRAÑAGA, A.; MIRALLES, M.; CERVERA, T. (2011): *Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades*. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. 122 pàg.

PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; BELTRÁN, M. (2017). «Resource communication. ORGEST: Regional guidelines and silvicultural models for sustainable forest management». *Forest Systems* núm 26 (2). eRC01S



Anexo 7. Artículo “Gestión adaptativa en bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola”



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

Gestión adaptativa y naturalística en bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola

COLLADO COLOMA, E.¹; COELLO GÓMEZ, J.¹; BELTRÁN BARBA, M. ¹; MOURA DE ABREU, L.¹; GUITART XARPELL, L.²; PALERO MORENO, N.³; VIGUÉ RUAIX, V.⁴; ROVIRA BLANCO, J.⁵; PIQUÉ NICOLAU, M. ¹

1 Programa de Gestió Forestal Multifuncional. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC).

2 Associació de Propietaris del Montnegre-Corredor (APMC).

3 Centre de la Propietat Forestal (CPF).

4 Associació de Propietaris Forestals de Serra de Bellmunt-Collsacabra (APFSBE).

5 Diputació de Barcelona (DIBA).

Resumen

El proyecto LIFE MixForChange tiene como objetivo aumentar la capacidad adaptativa al cambio climático de los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos, a través del desarrollo, implementación y transferencia de una selvicultura innovadora que mantenga las funciones ecológicas y socioeconómicas de estos bosques. Esta selvicultura se basa en la reducción de la competencia y la promoción de la complejidad del bosque integrando principios de gestión naturalística y orientada al árbol individual. Su implementación se fundamenta en claras selectivas y tratamientos de resalveo donde se identifican y promueven árboles de valor en función de su interés productivo (valor económico potencial) y para la conservación de la biodiversidad (singularidad, microhábitats de interés). En este trabajo describimos y evaluamos los efectos a corto plazo de la selvicultura aplicada en 39 rodales mixtos de castañar, encinar, robledal y pinar con un área total de 197 ha. Los tratamientos aplicados han permitido responder, en términos generales, a los objetivos marcados con la gestión. Mediante una selvicultura de intensidad moderada, que ha permitido mantener el microclima forestal, se ha conseguido mantener la heterogeneidad y diversidad de las masas, reduciendo la competencia y la vulnerabilidad a incendios forestales y sentando las bases para la capitalización futura de las masas.

Palabras clave

Gestión próxima a la naturaleza, gestión de árbol individual, cambio climático, prevención de incendios, conservación de la biodiversidad.

1. Introducción

1.1. El bosque Mediterráneo subhúmedo mixto

El bosque mediterráneo subhúmedo es un ecosistema de gran singularidad e importancia a nivel español y europeo. El clima está caracterizado por unas temperaturas medias anuales suaves (12 - 14°C), precipitaciones elevadas (750 - 1.000 mm) y una sequía estival de baja intensidad. El área de distribución ocupa sistemas montañosos litorales y prelitorales, desde el NE de España al SE de los Balcanes.

El bosque resultante es principalmente mixto y dominado por frondosas. Las principales tipologías forestales que lo componen son (EEA, 2006): "*Termophilous deciduous forest*", "*Broadleaved evergreen forest*", "*Mesophytic deciduous forest*" y transiciones a "*Coniferous forests of the Mediterranean region*". Estas masas incluyen diversos hábitats de interés comunitario (HIC), entre los que destacan: [9180] bosques de laderas, desprendimientos o barrancos, del Tilio-Acerion (hábitat prioritario), [9340] Encinares, [9240] robledales ibéricos de *Quercus faginea* y *Quercus canariensis*, [9260] Castañares y [9330] Alcornocales, entre otros. Por otra parte, estos bosques

incluyen formaciones relictuales del terciario, de tipo laurisilva, albergando especies como *Laurus nobilis* o *Quercus canariensis*, de gran valor biogeográfico.

Las principales características de estas masas en el nordeste peninsular son las siguientes:

- Alta vulnerabilidad intrínseca a los impactos del cambio climático, principalmente restricciones hídricas severas e incendios.
- A pesar de su alto potencial productivo, existe un gran porcentaje de bosques abandonados (sin gestión) por falta de rentabilidad (fuertes pendientes, productos predominantes de bajo valor añadido, principalmente leñas) y por el ausentismo predominante de la propiedad, lo que conduce a una densidad vegetal excesiva y a problemas de vitalidad y estabilidad.
- Son formaciones boscosas ubicadas en áreas muy pobladas y urbanizadas, con gran relevancia de los servicios ecosistémicos forestales: regulación hídrica, paisaje, uso público, biodiversidad, fijación de carbono, etc.

1.2. Principios generales de la silvicultura aplicada

En este contexto se implementa el proyecto LIFE MixForChange (www.mixforchange.eu; 2016-2022), que tiene como objetivo contribuir a la adaptación y a la resiliencia de los bosques mixtos subhúmedos mediterráneos ante el cambio climático, favoreciendo su conservación y el mantenimiento de sus funciones productivas, ambientales y sociales. Para ello, se plantea una gestión forestal innovadora, que integre principios de adaptación al cambio climático con intervenciones silvícolas detalladas, que permitan conseguir una sostenibilidad económica y ecológica en la gestión.

La silvicultura desarrollada en el proyecto, y aplicada en 197 ha demostrativas de bosque mediterráneo subhúmedo, incorpora criterios de adaptación al cambio climático, de silvicultura naturalística y con un enfoque de árbol individual.

La silvicultura adaptativa busca incrementar la resistencia y resiliencia del sistema frente a las principales perturbaciones inducidas por el cambio climático en estas condiciones, especialmente, un aumento del déficit hídrico y del riesgo de incendios forestales. Para ello, se propone aumentar la vitalidad (crecimiento y estado hídrico) y la estabilidad individual y colectiva, reducir la vulnerabilidad estructural frente a grandes incendios forestales y mantener la diversidad de especies y estructuras.

La silvicultura naturalística (también conocida como “próxima a la naturaleza” o “Pro Silva”) es una corriente de gestión forestal basada en intervenciones silvícolas con un alto grado de detalle, de baja intensidad y elevada recurrencia (habitualmente, entre 6 y 15 años) (PELLERÍ *et al.*, 2013), en base a un profundo conocimiento de los procesos del ecosistema forestal y del contexto socioeconómico de cada monte, con el objetivo de minimizar los costes de actuación y maximizar el retorno. Uno de los componentes o variantes de este método (BELTRÁN *et al.*, 2020) es la denominada silvicultura de árbol individual, que centra las decisiones de la gestión en el papel actual y potencial que tiene cada árbol en el ecosistema, y permite realizar determinadas inversiones centradas en árboles de alto potencial económico o ambiental.

Si bien se trata de un enfoque que huye deliberadamente de las recetas cuantitativas, GARITACELAYA *et al.* (2009) presentan 18 medios para alcanzar la multifuncionalidad de los ecosistemas forestales mediante la aplicación de esta silvicultura, que incluyen, entre otros, conservar una cubierta continua, utilizar los procesos naturales de la dinámica forestal que sean favorables a los objetivos de la gestión, mantener y fomentar la diversidad de especies, establecer áreas en evolución natural, promover las funciones forestales de protección, producir madera de calidad, respetar la individualidad de cada árbol, promover la regeneración natural o mejorar la estabilidad individual y colectiva.

El enfoque de la selvicultura aplicada busca conseguir una mejora en indicadores de conservación de la biodiversidad, y al mismo tiempo mejorar la bioeconomía asociada a estos bosques (mayor producción, generación de productos de mayor valor añadido), mejorando a medio plazo el balance económico de la gestión. Un aspecto clave en este sentido es compensar el incremento de la implicación de personal cualificado (marcaje, formación de trabajadores) con la reducción de la inversión en trabajos forestales (desbroces, clareos, apeo y saca de productos de bajo valor).

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es caracterizar y evaluar el efecto de una selvicultura innovadora que integra conceptos de adaptación al cambio climático, selvicultura naturalística y selvicultura de árbol individual, en cuatro tipologías de bosque mixto mediterráneo subhúmedo de Cataluña. La evaluación se centra en variables silvo-dasométricas, indicadores de biodiversidad y vulnerabilidad estructural frente a incendios.

3. Metodología

3.1. Área de estudio y tipologías de bosque

El área de trabajo (Figura 1) son cuatro macizos (Montnegre-Corredor, Montseny, Bellmunt-Collsabra y sur de la comarca del Ripollés) situados en las provincias de Barcelona y Girona, con un clima mediterráneo sub-húmedo. Las formaciones forestales de las masas demostrativas, casi siempre mixtas, están dominadas por robles (*Quercus canariensis*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*), encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), castaño (*Castanea sativa*) o pinos (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*). En total, la superficie intervenida es de 197 ha.

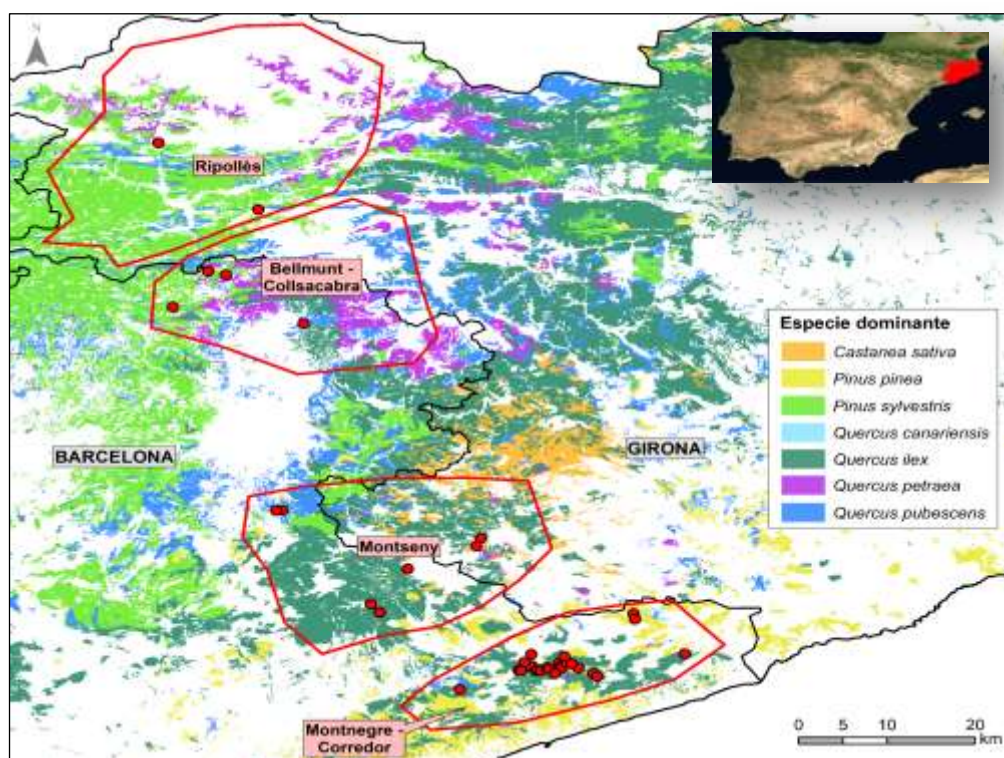


Figura 1. Área de trabajo del LIFE MixForChange: ubicación de los 39 rodales demostrativos (puntos rojos), respecto a los cuatro macizos (polígonos rojos).

3.2. Descripción de la silvicultura aplicada

Los objetivos generales perseguidos con los tratamientos selvícolas, realizados en todas las formaciones forestales a lo largo de las paradas vegetativas 2017-18 (28% de la superficie) y 2018-19 (72% de la superficie), fueron:

- i. Ajustar los tratamientos a una intensidad de actuación moderada para mantener un microambiente forestal húmedo que limite el desarrollo del sotobosque y las pérdidas de humedad por evaporación e insolación, no ponga en riesgo la estabilidad de la masa y favorezca la poda natural y evite la aparición de brotes epicórmicos.
- ii. Mantener o incrementar la heterogeneidad estructural de las masas.
- iii. Reducir la competencia intra- e interespecífica.
- iv. Sentar las bases para la capitalización futura de las masas.
- v. Mantener y potenciar la diversidad de especies arbóreas.
- vi. Reducir la vulnerabilidad a incendios forestales.
- vii. Promover el vigor y el desarrollo de individuos y especies con alto interés para la producción de madera de calidad o por su contribución a la biodiversidad.

A efectos prácticos, y pese a las adaptaciones propias de cada rodal y de la presencia y características de los árboles de alto interés, esta silvicultura se concreta en las siguientes intervenciones:

- Identificación de los árboles de alto interés, comercial o para la conservación de la biodiversidad. Los árboles de alto interés comercial son pies con alto valor económico presente o futuro (diámetro de al menos 15-20 cm, bien conformados, con la copa desarrollada), de especies productoras de madera de calidad que se aprovecharán considerando un turno tecnológico. Los pies de alto interés para la biodiversidad son pies de especies poco representadas o con microhábitats de interés, y que no se recolectarán nunca. En esta identificación se busca un máximo de 100-150 árboles de alto interés por hectárea, distribuidos de la forma más regular posible.
- Claras selectivas en favor de los árboles de alto interés, consistentes en eliminar el principal competidor, es decir, aquel pie que más limita la expansión de la copa del árbol de interés. Si éste es suficientemente estable y no hay riesgo de emisión de brotes epicórmicos se puede plantear la eliminación de 2 o incluso 3 competidores, siempre prestando atención a la competencia a nivel de la copa. El resto de los pies situados cerca del árbol de interés, dominados por éste y que hacen un acompañamiento lateral, no se cortan.
- En el resto de la superficie se aplican las indicaciones para la regulación de la densidad total de la masa según las Orientaciones de Gestión Forestal Sostenible de Cataluña (ORGEST) (PIQUÉ *et al.*, 2017), principalmente con claras mixtas respetando todas las especies presentes y resalveos dejando 1-3 pies por cepa, en función de su estabilidad. También se ha tenido en cuenta el mantenimiento de la madera muerta preexistente (en pie y en el suelo) de mayor diámetro, con una densidad de referencia de entre 5 y 10 pies muertos por hectárea de cada tipo.
- Desbroce selectivo y parcial, respetando cerca de un 25% de cobertura de sotobosque. Este desbroce se centra en reducir la presencia del matorral de más de 1,3 m de altura, sobre todo de las especies más pirófilas y de aquellas que no producen fruto de interés para la fauna. Para limitar la fuerza del rebrote en brezo, madroño y durillo, se deja 1 pie por cepa. En el caso del avellano sólo se cortan los pies del perímetro de la cepa.
- En las áreas del bosque que presentan una densidad muy baja debido a una perturbación (vendaval, problemas sanitarios), una estructura simplificada y una escasa o nula regeneración natural se realizan plantaciones de enriquecimiento mixtas, incluyendo especies productoras de madera de calidad.
- En todos los rodales se ha considerado imprescindible hacer una transferencia cuidadosa y progresiva de los principios de esta silvicultura a las personas responsables de las cuadrillas de

trabajos forestales, con énfasis en las diferencias con la silvicultura tradicional. En función de la complicación técnica de la ejecución y de la capacidad del personal, el marcaje ha sido total, parcial (sólo árboles de alto interés y, puntualmente algunos competidores clave) o limitado a las “áreas de entrenamiento”.

La Figura 2 muestra un esquema-resumen de la silvicultura propuesta, con el detalle concreto para cada formación forestal donde se aplica. La Figura 3 muestra imágenes de varios rodales demostrativos, antes y después de la aplicación de los tratamientos selvícolas.

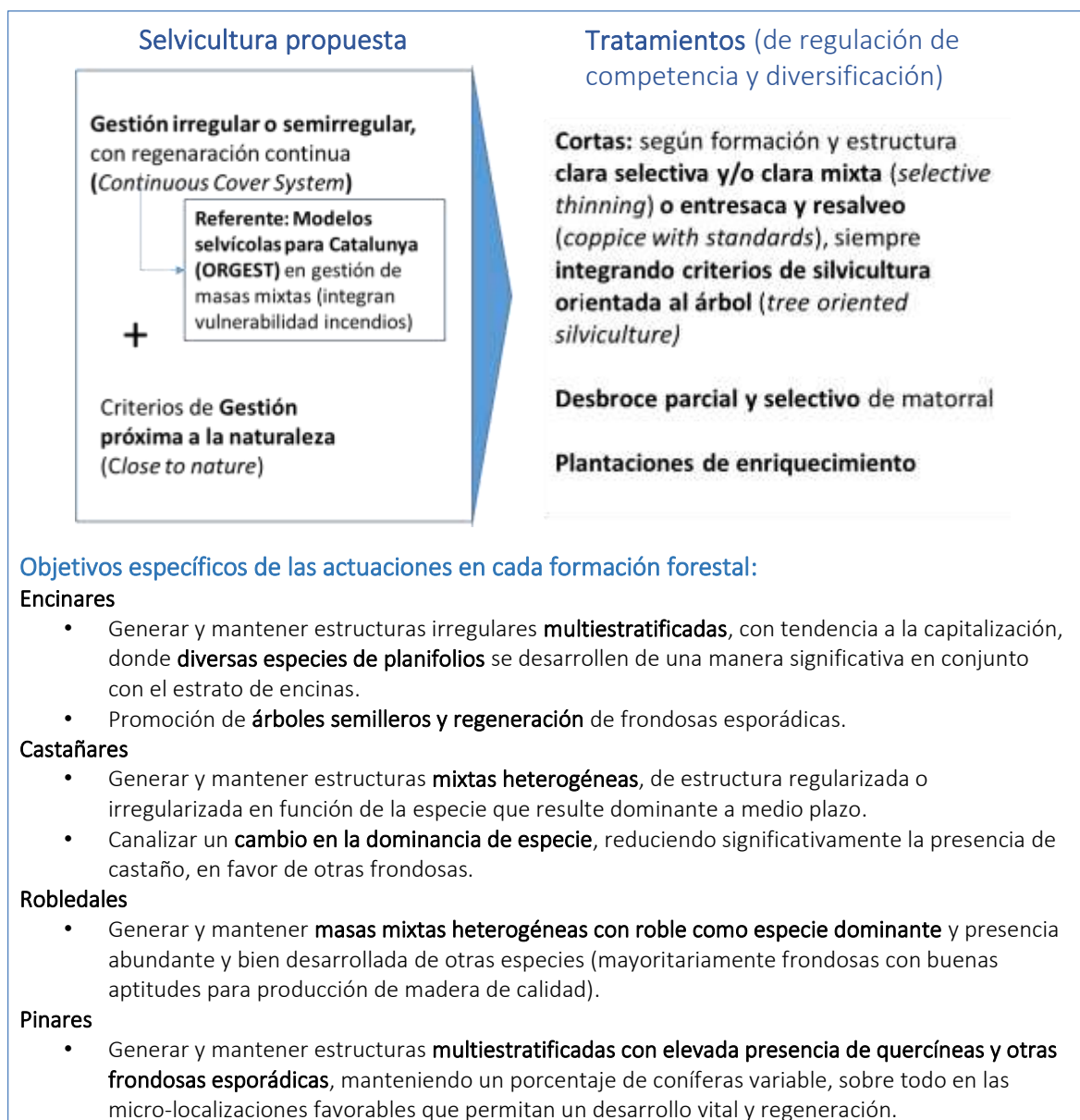


Figura 2. Esquema-resumen de la silvicultura propuesta, detallada para cada formación forestal.

Encinar – Pre-intervención



Encinar – Post-intervención



Castañar – Pre-intervención



Castañar – Post-intervención



Robledal – Pre-intervención



Robledal – Post-intervención



Pinar – Pre-intervención



Pinar – Post-intervención



Figura 3. Aspecto de una masa de cada formación forestal, antes y después de la intervención.

3.3. Toma de datos en los rodales intervenidos

La toma de datos se ha realizado en base a una red de 70 parcelas permanentes de inventario forestal (Tabla 1), de un radio predominante de 13-15 m, distribuidas en 39 rodales demostrativos. En las parcelas se ha realizado un seguimiento silvo-dasométrico (variables de arbolado, sotobosque y estructura forestal) (Tabla 2; CTFC, 2018), en tres momentos: justo antes de las intervenciones selvícolas (pre-intervención), inmediatamente después de éstas (post-intervención) y al cabo de dos o tres periodos vegetativos después de la intervención (final).

Tabla 1. Superficie intervenida en cada zona de estudio (macizo) y formación forestal, y distribución de los rodales y parcelas permanentes. Se descartó una parcela de encinar del Montseny por la afectación del temporal Gloria.

	Montnegre-Corredor	Montseny	Bellmunt-Collsabra	Ripollès
Encinar (7 rodales)	25,2 ha (13 parcelas)	8,4 ha (4 parcelas)	-	-
Castañar (15 rodales)	31,0 ha (11 parcelas)	15,1 ha (3 parcelas)	-	-
Robledal (8 rodales)	10,5 ha (4 parcelas)	4,7 ha (3 parcela)	33,2 ha (9 parcelas)	8,2 ha (3 parcelas)
Pinar (9 rodales)	20,1 ha (6 parcelas)	11,8 ha (3 parcelas)	25,8 ha (9 parcelas)	3,3 ha (3 parcelas)

Tabla 2. Variables tomadas en campo y variables calculadas sobre el estrato arbóreo y arbustivo, estructura forestal y biodiversidad.

	Variables medidas	Variables procesadas
Arbolado	Especies Diámetro normal (cm) Estrato social Altura total (m)	Número de pies (pies ha ⁻¹) Diámetro medio cuadrático (cm) Área basimétrica (m ² ha ⁻¹) Diámetro dominante (cm) Altura media (m) Altura dominante (m) Volumen con corteza (m ³ ha ⁻¹) Distribución estrato social (%)
Sotobosque	Especies Recubrimiento (%) Altura media (m)	
Biodiversidad	Estructura del espacio Relieve y orografía Continuidad temporal del bosque Ambientes acuáticos Ambientes rocosos Estructura vertical de la vegetación Espacios abiertos Árboles vivos grandes (DN > 40 cm) Madera muerta grande en pie	Índice de Biodiversidad Potencial (IBP)
Estructura de la masa	Recubrimiento combustible de escala (%) Recubrimiento combustible de superficie (%) Altura combustible de superficie (m)	Indicador de tipos de estructuras de vulnerabilidad al fuego de copas (TVFoC)

Distancia entre combustible superficie y aéreo (m)
 Distancia entre combustible escala y aéreo (m)
 Distancia entre combustible superficie y escala (m)
 FCC estrato aéreo (%)

Se ha caracterizado la biodiversidad de las formaciones mediante el Índice de Biodiversidad Potencial (IBP; LARRIEU & GONIN, 2008). El IBP es una metodología basada en indicadores cuantitativos que permite estimar la capacidad potencial de un rodal forestal de acoger biodiversidad. Algunos de los parámetros del IBP son propios de las características físicas (presencia de afloramientos de agua, diversidad de la orografía, etc.) y otros se pueden modificar con la gestión (composición arbórea y arbustiva, componentes de estructura, etc.) (Tabla 2). A diferencia de otras variables, los parámetros de este índice fueron recopilados solo en la pre-intervención y post-intervención. Con el fin de poder comparar este índice entre diferentes masas forestales, se ha expresado en tanto por ciento, respecto el valor máximo que puede lograr para cada rodal.

También se evalúa el efecto de la intervención sobre la vulnerabilidad estructural a incendios de las masas forestales mediante la clasificación TVFoC (PIQUÉ *et al.*, 2013). Este indicador es una metodología cuantitativa que permite clasificar un rodal forestal según su vulnerabilidad para generar fuegos de copas. Así, se diferencia entre TVFoC de vulnerabilidad alta (A), moderada (B) y baja (C). Esta clasificación se basa en diferentes características del combustible aéreo y del combustible de escala y de superficie (Tabla 2).

4. Resultados

4.1. Efecto de los tratamientos sobre el estrato arbóreo

Las actuaciones han mantenido masas con estructuras generalmente irregulares en todas las formaciones forestales, con una reducción del AB total de (Figura 4, Tabla 3): $28,2 \pm 8,8\%$ en encinar, $21,6 \pm 11,8\%$ en castañar, $23,3 \pm 12,8\%$ en robledal y $21,9 \pm 15,8\%$ en pinar. Esta reducción se ha centrado sobre todo en clases diamétricas pequeñas e intermedias, manteniéndose o incrementándose, a su vez, las clases diamétricas superiores (Figura 2). Las actuaciones también han mantenido la distribución social del estrato arbóreo en los encinares y robledales, mientras que la proporción de árboles codominantes ha aumentado en detrimento de pies dominantes en castañares y pinares. En la Tabla 3 se detalla la evolución de las principales variables dasométricas de las cuatro formaciones forestales.

La intervención apenas causó cambios en la abundancia relativa (en base al AB) y en la riqueza de las especies arbóreas (Tabla 3). En concreto, el AB de las especies acompañantes respecto al total de la masa se mantuvo aproximadamente en 26% en encinares, 33% en castañares y 47% en robledales, mientras que el AB de las especies acompañantes de los pinares aumentó ligeramente un 5% (hasta una media del 53% del AB total). A nivel de especie acompañante, se ha observado una mayor presencia (en base a AB), entre otras, de (Tabla 3): (i) *Quercus ilex* en castañares, robledales y pinares, (ii) *Prunus avium* en encinares y castañares, (iii) *Acer opalus* en robledales y pinares, y (iv) *Quercus suber* en encinares y pinares.

Tabla 3. Caracterización dasométrica de las formaciones antes y después de la intervención. Los datos entre paréntesis son las desviaciones estándar. 'N': densidad de pies vivos inventariables ($DN > 7,5$ cm), 'Dg': diámetro medio cuadrático de pies vivos inventariables, 'AB': área basimétrica de pies vivos inventariables, 'AB_dn': proporción de AB de la especie dominante, 'Do': diámetro dominante (media de DN de los 100 árboles más gruesos por hectárea), 'Hm': altura media de la masa, 'Ho': altura dominante (media de Hm de los 100 árboles más gruesos por hectárea), 'Vcc': volumen de madera con corteza (calculado mediante relación alométrica), 'N_dn': proporción de pies dominantes vivos inventariables, 'N_cd': proporción de pies codominantes vivos inventariables, 'N_do': proporción de pies dominados vivos inventariables, 'S': riqueza de especies acompañantes y 'Sp_Aco': especies acompañantes con proporción mayor al 5% de AB total. 'Pre' es el inventario realizado antes de la intervención y 'Final' es el inventario realizado 2 o 3 años (i.e., periodos vegetativos) después de la intervención.

El número de parcelas por cada formación e inventario se muestra en la Tabla 1.

	Encinar		Castañar		Robledal		Pinar	
Variable	Pre	Final	Pre	Final	Pre	Final	Pre	Final
N (pies ha ⁻¹)	1.140 (358)	682 (196)	1.374 (406)	959 (275)	1.060 (273)	750 (183)	957 (376)	679 (279)
Dg (cm)	17,8 (1,8)	19,2 (3,6)	13,5 (2,8)	14,8 (2,4)	15,7 (3,7)	16,6 (4,3)	18,3 (2,5)	18,9 (2,6)
AB (m ² ha ⁻¹)	31,6 (6,8)	24,1 (5,9)	26,8 (6,7)	21,4 (5,2)	27,0 (11,1)	22,4 (10,7)	30,7 (11,5)	22,7 (10,1)
AB_dn (%)	75,0 (19,8)	73,9 (22,6)	66,5 (29,0)	67,0 (25,7)	51,7 (27,3)	54,3 (27,3)	52,3 (25,0)	46,6 (26,8)
Do (cm)	34,8 (5,4)	35,1 (5,2)	26,9 (7,4)	26,1 (5,3)	32,6 (8,5)	32,9 (9,2)	36,4 (5,6)	34,6 (5,1)
Hm (m)	10,4 (0,8)	11,0 (0,7)	11,7 (1,5)	11,9 (1,7)	12,0 (1,3)	12,3 (1,2)	11,6 (1,8)	11,8 (1,8)
Ho (m)	13,7 (1,7)	13,9 (2,1)	14,2 (1,0)	13,9 (1,0)	17,6 (3,3)	17,7 (3,5)	16,9 (3,0)	16,5 (2,5)
Vcc (m ³ ha ⁻¹)	144 (40)	117 (45)	164 (61)	131 (41)	139 (65)	118 (70)	162 (68)	116 (80)
N_dn (%)	14 (13)	14 (17)	16 (19)	14 (15)	29 (15)	25 (17)	32 (16)	27 (19)
N_cd (%)	47 (18)	49 (17)	39 (25)	48 (24)	40 (18)	44 (15)	24 (13)	32 (18)
N_do (%)	39 (18)	37 (19)	45 (22)	38 (24)	32 (20)	31 (21)	43 (19)	41 (22)
S	4,4 (1,2)	4,0 (1,5)	3,8 (1,6)	3,5 (1,4)	5,3 (1,4)	4,9 (1,5)	5,1 (2,2)	5,3 (1,9)
Sp_Aco	<i>Quercus suber</i> , <i>Prunus avium</i>		<i>Prunus avium</i> , <i>Coryllus avellana</i> , <i>Quercus ilex ilex</i>		<i>Acer opalus</i> , <i>Pinus</i> <i>sylvestris</i> , <i>Quercus</i> <i>ilex ilex</i>		<i>Quercus pubescens</i> , <i>Q. ilex ilex</i> , <i>Acer</i> <i>opalus</i> , <i>Q. suber</i>	

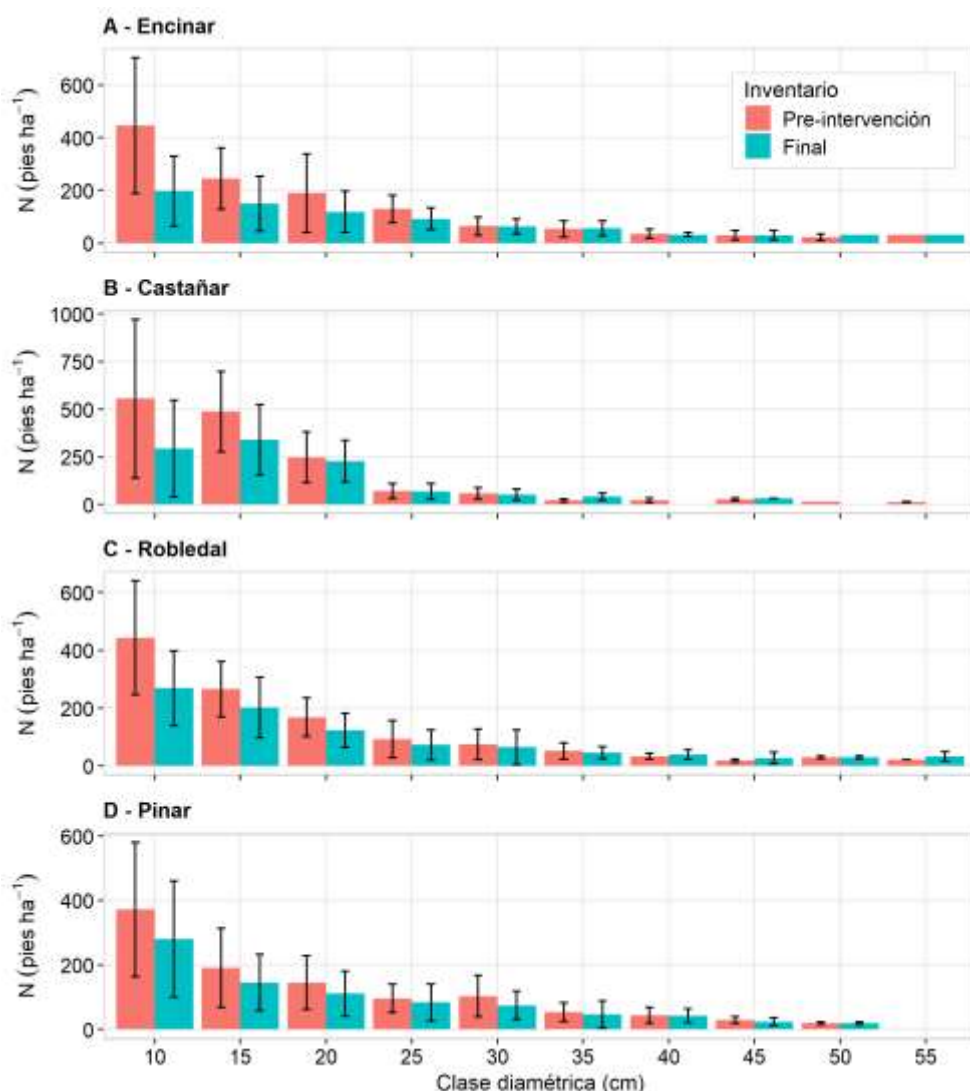


Figura 4. Distribución diamétrica de las distintas formaciones forestales. 'Pre' es el inventario realizado antes de la intervención y 'Final' es el inventario realizado 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención. El número de parcelas por cada formación e inventario se muestra en la Tabla 1.

4.2. Efecto de los tratamientos sobre el estrato arbustivo

Los tratamientos selvícolas dieron lugar a una reducción de la biomasa del sotobosque en todas las formaciones forestales (Figura 5). A los 2 o 3 años de la intervención realizada en encinares y castaños, el recubrimiento del estrato arbustivo (matorral y especies arbóreas rebrotadoras) mostró una recuperación casi total (encinares: 57% en pre-intervención, 27% en post-intervención y 48% en la masa final; castaños: 45% en pre-intervención, 29% en post-intervención y 41% en la masa final), pero no así la altura. El efecto de los tratamientos en la reducción del recubrimiento y altura del sotobosque en los robledales y pinares se mantuvo a los 2 o 3 años de la intervención (Figura 5). Por ejemplo, el recubrimiento de matorral en robledales y pinares se redujo de media, de la pre-intervención al inventario final, de 73% a 39% y de 62% a 43%, respectivamente.

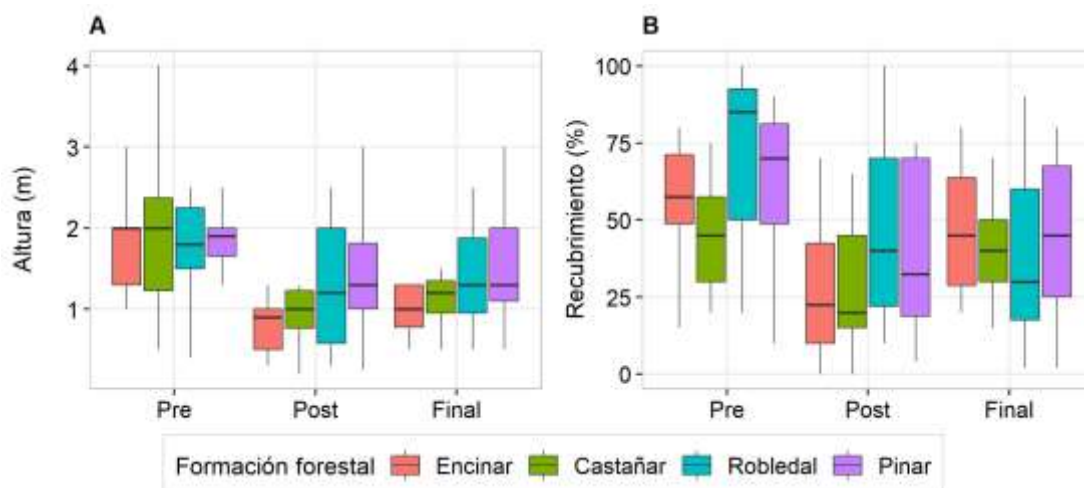


Figura 5. Altura (A) y recubrimiento (B) del sotobosque de las distintas formaciones forestales. 'Pre' es el inventario realizado antes de la intervención, 'Post' es el inventario realizado inmediatamente tras la intervención y 'Final' es el inventario realizado 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención. El número de parcelas por cada formación e inventario se muestra en la Tabla 1.

4.3. Efecto de los tratamientos sobre el Índice de Biodiversidad Potencial (IBP)

Los tratamientos selvícolas han dado lugar a ligeras reducciones del valor de IBP en los encinares (-5,7%), y, en menor medida, en castaños (-3,2%), robledales (-2,7%) y pinares (-1,1%). Estas reducciones se deben, sobre todo, a la disminución de la puntuación de los factores relacionados con la cantidad de madera grande muerta en pie, si bien también hubo un ligero aumento generalizado de la puntuación del factor relacionado con el número de árboles vivos grandes. En encinares y castaños, las actuaciones también redujeron puntualmente la puntuación del factor relacionado con la estructura vertical de la vegetación (número de estratos).

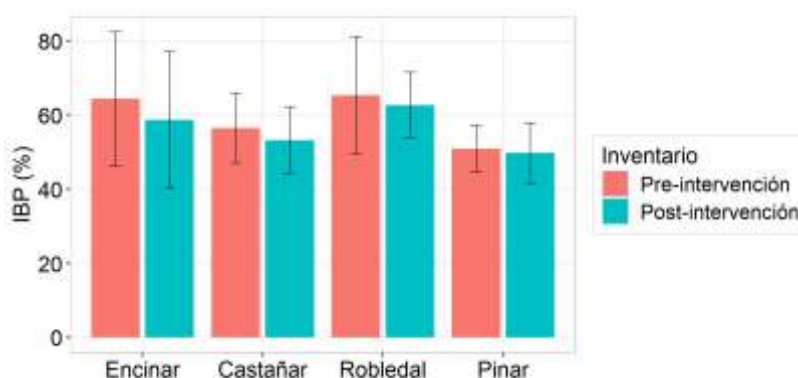


Figura 6. Efectos de la intervención en el índice de biodiversidad potencial (IBP) de las diferentes formaciones forestales. 'Pre-intervención' es el inventario realizado antes de la intervención y 'Post-intervención' es el inventario realizado inmediatamente tras la intervención. El número de observaciones (rodas) es 32.

4.4. Efecto de los tratamientos sobre la vulnerabilidad incendios forestales

Las actuaciones han mostrado, inmediatamente tras la intervención (post-intervención), una reducción considerable de la vulnerabilidad estructural a incendios de copas en encinares y robledales y, en menor medida, en castaños (Figura 7). A los 2 o 3 años de la intervención, aumenta dicha vulnerabilidad en encinares y castaños, si bien sin alcanzar los valores iniciales (pre-

intervención). En el caso de los pinares, los tratamientos no han tenido un impacto inmediato tan significativo en la reducción de la vulnerabilidad de los rodales a generar fuegos de copas, aunque los valores de vulnerabilidad de las masas finales de pino se mantuvieron más bajos que los de la pre-intervención (Figura 7).

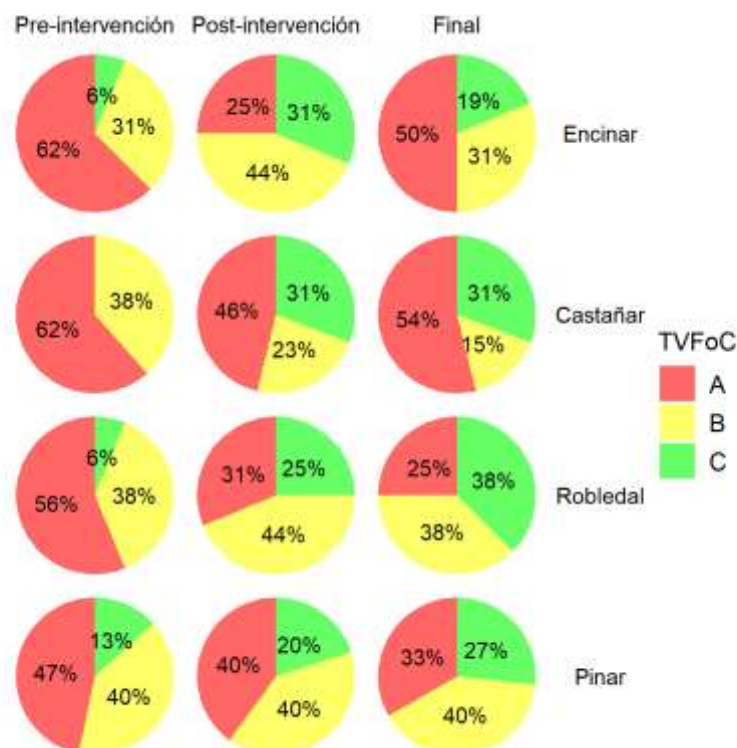


Figura 7. Efectos de la intervención en la vulnerabilidad estructural a incendios de copas (TVFoC). Las categorías de vulnerabilidad son alta (A), moderada (B) y baja (C). 'Pre-intervención' es el inventario realizado antes de la intervención, 'Post-intervención' es el inventario realizado inmediatamente tras la intervención y 'Final' es el inventario realizado 2 o 3 años (i.e., periodos vegetativos) después de la intervención.

5. Discusión

En este trabajo se ha evaluado el efecto de tratamientos selvícolas implementados en masas mixtas de cuatro tipologías forestales, buscando avanzar hacia formaciones más resistentes y resilientes al cambio climático. El seguimiento se ha basado en una red de 70 parcelas permanentes, instaladas en 39 rodales, en las que se ha recopilado una gran cantidad de información con la que: (i) caracterizar selvícolamente los tratamientos, y (ii) evaluar los efectos a corto plazo de dichos tratamientos sobre la estructura y dinámica forestal, y sobre indicadores de adaptación al cambio climático.

En general, los objetivos planteados inicialmente con la aplicación de los tratamientos y selvicultura descrita se han cumplido, si bien estas actuaciones a menudo han tenido un carácter de transición o de preparación de las masas hacia una estructura cada vez más favorable para conseguir los objetivos mediante sucesivas aplicaciones de este tipo de selvicultura:

- El porcentaje de área basimétrica extraída en las intervenciones ha variado entre formaciones, con valores promedio entre el 22-23% en castaños, pinares y robledales, y el 29% de encinares. Este tipo de intervención se puede considerar de intensidad baja o intermedia, de acuerdo con los modelos selvícolas regionales ORGEST (Piqué *et al.*, 2017), en línea con el objetivo de mantener un microambiente forestal húmedo, pero reduciendo la competencia en el estrato arbóreo.

- Esta extracción, realizada principalmente en forma de claras selectivas o mixtas, pero siempre con criterios detallados, ha permitido mantener o promover una estructura de masa irregular o semirregular (Figura 4), y por tanto con un alto nivel de heterogeneidad estructural. También se puede considerar satisfactorio el asentamiento de las bases para la progresiva capitalización de la masa: en todas las formaciones el diámetro medio cuadrático y la altura media se han incrementado después de las intervenciones. Además, se ha mantenido la práctica totalidad de los pies de mayores dimensiones, a excepción del caso de los castaños, en los que la gestión buscaba acompañar un cambio de dominancia de la especie principal, lo cual ha conllevado la corta de algunos castaños enfermos y mal conformados de grandes dimensiones.

- Las intervenciones aplicadas han permitido, en general, mantener la diversidad de especies arbóreas, y apenas se ha reducido la capacidad potencial de acogida de biodiversidad del ecosistema (expresada a través del IBP). Se espera que los factores del IBP que puntualmente han mostrado una ligera reducción en su puntuación (madera muerta en pie, y en menor medida, diversidad de estratos) vuelvan a incrementarse espontáneamente en los próximos años. Sin embargo, no se ha conseguido un incremento notable del peso (en términos de área basimétrica) ni del número de especies acompañantes. Esto se debe a que este cambio en el peso de la composición de especies probablemente se manifestará a medio plazo, puesto que con la gestión realizada se inicia un proceso progresivo de diversificación, pero que deberá consolidarse en las próximas intervenciones.

- La selvicultura aplicada ha permitido reducir notablemente la vulnerabilidad estructural a incendios de copas, especialmente gracias a los desbroces y a la eliminación de combustible de escala. Los desbroces se han realizado de manera selectiva (centrada en los matorrales más altos y de especies más pirófilas y abundantes y de menor interés para la biodiversidad) y parcial (manteniendo un 25-30% del recubrimiento arbustivo). La evolución de la vulnerabilidad estructural dos o tres años después de la intervención muestra una tendencia variable: en encinar, y en menor medida en castaño, se observa un aumento de la vulnerabilidad en este período, especialmente ligado a la recuperación de la superficie cubierta por el matorral y al rebrote de la especie principal. Sin embargo, en robledal y pinar la vulnerabilidad continúa reduciéndose a lo largo de este período, probablemente ligado al asentamiento de los restos de corta. De hecho, es en los pinares donde la intervención selvícola dio lugar a una reducción más leve de la vulnerabilidad estructural, a causa de la importante generación de restos de corta.

Cabe añadir que, en comparación con la selvicultura prevalente en el área de trabajo, centrada en una especie principal, la selvicultura de masas mixtas presentada en este trabajo conlleva una mayor dificultad de diseño y aplicación (PRETZSCH *et al.*, 2021). En concreto, para este caso, implica intervenciones de menor intensidad, más frecuentes y detalladas. Aunque los principios generales de esta selvicultura son relativamente sencillos, la aplicación sobre el terreno requiere una toma de decisiones continua para encontrar un equilibrio entre objetivos divergentes, entre otros: cómo mantener todas las especies cuando alguna muestra problemas de adaptación o vigor; cómo mantener un microclima forestal sin que haya una competencia excesiva; cómo mantener una baja vulnerabilidad estructural a incendios mientras se promueve una masa multiestratificada. Por tanto, el papel del selvicultor y el compromiso de realizar intervenciones periódicas cobran una importancia capital, así como la necesidad de hacer un marcaje en el monte de los árboles a cortar.

Los resultados de esta selvicultura sobre el balance económico, en comparación con la aplicación de una selvicultura tradicional en el área de trabajo, se detallan en la comunicación “Evaluación económica de la selvicultura adaptativa al cambio climático en bosques mediterráneos subhúmedos catalanes” (GUITART *et al.*, 2021), presentada a este mismo Congreso. Además, los criterios y resultados de identificación y promoción de los árboles de alto valor se presentan en otra comunicación de este Congreso: “Selvicultura adaptativa con criterios de árbol individual: resultados

de aplicación y protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de frondosas de alto valor” (COELLO *et al.*, 2021).

6. Conclusiones

En este trabajo hemos mostrado cómo una selvicultura innovadora, que incorpora criterios de adaptación al cambio climático, selvicultura naturalística y orientada al árbol individual, aplicada en cuatro tipologías de bosques mixtos, ha conseguido, mediante una intervención de intensidad moderada y de alta selectividad:

- reducir la competencia intra e interespecífica
- sentar las bases para la capitalización futura de las masas
- mantener la diversidad de especies arbóreas
- reducir la vulnerabilidad a incendios forestales

El objetivo de mantener y promover la heterogeneidad estructural de las masas ha sido conseguido de manera desigual, si bien se espera que la dinámica forestal espontánea permita en los próximos años alcanzar este objetivo.

En resumen, se ha conseguido avanzar hacia bosques más vitales y más resistentes y resilientes frente a efectos del cambio climático. En todo caso, este estudio corresponde a una primera aplicación de la selvicultura descrita. La evaluación de ésta sobre indicadores de adaptación, y también de tipo socioeconómico y ecológico, solo será posible mediante su aplicación periódica, y dando continuidad a su seguimiento a través de las parcelas permanentes instaladas.

7. Agradecimientos

Proyecto LIFE MixForChange ((LIFE15 CCA/ES/000060), financiado por el programa LIFE de la Unión Europea. Agradecemos la colaboración de las personas implicadas en la toma y gestión de datos de campo por parte del CTFC, CPF, APMC, APFSBE y Diputación de Barcelona.

Proyecto «*Masses forestals mixtes per a l'adaptació dels boscos al canvi climàtic, foment de la biodiversitat i diversificació de la producció forestal*», dentro de la operación 01.02.01 del TT del PDR de Catalunya 2014-2020.

8. Bibliografía

BELTRÁN, M.; CANO, F.; GARITACELAYA, J.; PIQUÉ, M.; 2020. Manual de gestión naturalística de los bosques de coníferas de Pirineos. Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Catalunya, Solsona.

CTFC; 2018. Protocolo para la realización de la evaluación selvícola de las acciones C1 – C4 (Acción D3).
www.mixforchange.eu/docs/Protocol_silvicultural_assessment_MixForChange.pdf

EEA; 2006. European forest types. Categories and types for sustainable forest management reporting and policy. *EEA Tech. Report*, No. 9/2006.

GARITACELAYA, J.; GARCÍA, M.D.; ZARO, N.; GÓMEZ, N.; MIAILLIER, G.; SABIN, P.; IVAR, A.; LÓPEZ, F.; GARROTE, J.; 2009. La Red de Montes “ProSilva Cantábrica,” en: 5º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

LARRIEU, L.; GONIN, P.; 2008. L'indice de Biodiversité Potentielle (IBP): une méthode simple et

rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Rev. For. Française*.

PELLERI, F.; SANSONE, D.; BIANCHETTO, E.; BIDINI, C.; SICI, A.; 2013. Selvicoltura d'albero in fustaie di faggio: valorizzazione delle specie sporadiche e coltivazione della specie dominante. *Sherwood* 190, 43–47.

PIQUÉ, M.; VALOR, T.; LARRAÑAGA, A.; CERVERA, T.; 2013. Integración de la prevención de incendios en la gestión forestal: tipologías forestales de Cataluña según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas. *VI Congr. For. Español*.

PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; BELTRÁN, M.; 2017. Resource communication. ORGEST: Regional guidelines and silvicultural models for sustainable forest management. *For. Syst.* 26, eRC01S-eRC01S.

PRETZSCH, H.; POSCHENRIEDER, W.; UHL, E.; BRAZAITIS, G.; MAKRIKIENE, E.; CALAMA, R.; 2021. Silvicultural prescriptions for mixed-species forest stands. A European review and perspective. *Eur. J. For. Res.* 1–28.



Anexo 8. Artículo “Evaluación económica de la silvicultura adaptativa al cambio climático en bosques mediterráneos subhúmedos catalanes”



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

Evaluación económica de la silvicultura adaptativa al cambio climático en bosques mediterráneos subhúmedos catalanes

GUIART, L.¹, ROSELL, M.¹, COELLO, J.², PIQUÉ, M.², PALERO, N.³, VIGUÉ, J.⁴.

¹ Associació de Propietaris Forestals del Montnegre i el Corredor (APMC).

² Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC).

³ Centre de la Propietat Forestal (CPF).

⁴ Associació de Propietaris Forestals de Serra de Bellmunt-Collsabre (APFSBE).

Resumen

El bosque mediterráneo subhúmedo catalán presenta una alta productividad, pero frecuentemente también limitaciones (baja estabilidad, vitalidad y rentabilidad), que pueden verse empeoradas por el cambio climático. El proyecto LIFE MixForChange pretende mejorar la adaptación de estas masas al cambio climático mediante la implementación de una gestión forestal innovadora (GFI) que promueve la complejidad en especies y estructuras incorporando principios de silvicultura naturalística. Este trabajo evalúa económicamente una primera aplicación de GFI comparada con una intervención de gestión forestal tradicional (GFT) en 34 rodales mixtos (161 ha) de encinar, castañar, robledal y pinar, en cuatro macizos catalanes. Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de ambos tipos de silvicultura no es sostenible económicamente, especialmente en castañares y pinares con productos de bajo valor (-1.500 a -2.100 €/ha). En masas capitalizadas ($AB > 32 \text{ m}^2/\text{ha}$ y $Dg > 20 \text{ cm}$), los balances son menos negativos (-400 a -780 €/ha), siendo similares en ambas gestiones, incluso favorables a la GFI. En la GFI, la mayor diversidad de productos y el menor coste de los tratamientos compensan el menor volumen obtenido y el mayor esfuerzo de marcaje/formación. Se espera que la aplicación continuada de GFI permita incrementar la producción de piezas de alto valor y mejorar la rentabilidad.

Palabras clave

Silvicultura árbol individual, diversificación productos, frondosas de alto valor, bosques mixtos, economía, rentabilidad.

1. Introducción

Los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos (BMMS) son un ecosistema de gran singularidad e importancia. Las condiciones climáticas en las que se encuentran (temperaturas suaves y precipitaciones relativamente elevadas) permiten la presencia de una gran diversidad de especies, especialmente de frondosas. Este tipo de bosque se localiza en las zonas de montaña litorales y prelitorales desde el NE de la Península Ibérica, extendiéndose hasta el SE de la costa adriática de los Balcanes.

Pese a su diversidad y productividad, muchos de estos bosques presentan una estructura y composición específica muy simplificadas, derivadas de la gestión forestal predominante desarrollada las últimas décadas, que ha tendido a centrarse en productos de bajo valor añadido de una única especie: especialmente, leña de encina y roble o piezas de castaño de pequeñas dimensiones.

Además, muchas de estas masas presentan una densidad excesiva debido a una falta de gestión forestal ligada a la baja rentabilidad económica de estos bosques. Como resultado, las masas actuales se suelen caracterizar por problemas de vitalidad y estabilidad, siendo muy vulnerables a perturbaciones. Asimismo, muchos de estos bosques se localizan en zonas

periurbanas donde el riesgo de incendios forestales se ve incrementado, estando además sujetos a fuertes presiones sociales (frecuentación) y demandas (agua, paisaje, biodiversidad, etc.).

Las previsiones climáticas para las próximas décadas pronostican un incremento de las temperaturas y también de la frecuencia e intensidad de episodios de sequía y tormentas. En este contexto, las problemáticas mencionadas de los BMMS pueden verse agravadas, con un fuerte impacto sobre sus valores y funciones. No obstante, estos bosques mixtos (con mezcla de diferentes especies forestales) o incipientemente mixtos, representan una oportunidad para avanzar hacia un mayor grado de diversidad del bosque y de adaptación a los impactos del cambio climático. Para ello, es necesario desarrollar una silvicultura que fomente la vitalidad, la complejidad estructural y la diversidad de especies, lo que permitiría aumentar la resistencia y resiliencia a perturbaciones además de incrementar la variedad de productos del bosque, muchos de ellos de alto valor añadido como los planifolios de alto valor.

El proyecto LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060; 2016-2022) pretende fomentar la adaptación de los BMMS al cambio climático promoviendo su conservación y manteniendo sus funciones productivas, ambientales y sociales. Para ello, una de sus acciones principales ha sido la implementación de una gestión forestal innovadora (GFI) en 39 rodales (197 ha) de BMMS dominados por encina (*Quercus ilex subsp. ilex*), castaño (*Castanea sativa*), robles (*Quercus pubescens*, *Q. canariensis*, *Q. petraea*), y el pino (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*), en cuatro macizos catalanes distintos (Montnegre-Corredor, Montseny, montes del Ripollès y Bellmunt-Collsabre), evaluando su impacto a nivel ecológico y económico.

Este trabajo se centra en la evaluación del impacto económico de GFI, comparándola con una intervención de gestión forestal tradicional (GFT) en términos de ejecución de las actuaciones y generación de productos.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es evaluar el impacto económico, en términos de costes de ejecución de las actuaciones e ingresos por la generación de productos, de una primera aplicación de GFI en 34 rodales de BMMS dominados por encina, castaño, roble y pino ubicados en cuatro macizos catalanes, comparándola con una aplicación hipotética de GFT en estos mismos rodales.

3. Metodología

3.1. Descripción de los modelos selvícolas comparados

3.1.1. La gestión forestal innovadora (GFI)

La GFI se basa en los principios de "*continuous cover system*" (cubierta forestal continua) y "*close-to-nature silviculture*" (silvicultura cercana a la naturaleza o naturalística) donde se realizan intervenciones de baja intensidad buscando promover las estructuras multiestratificadas y el aumento de la presencia de especies esporádicas (ej. cerezo, serbal, mostajo, fresno, arce, orón, etc.). La gestión a nivel de masa se basa en generar o mantener una estructura irregular o semirregular, según el caso, que permita aumentar la complejidad del bosque disminuyendo la densidad de forma moderada, regulando el estrés hídrico y seleccionando los pies más vigorosos y vitales que puedan ser más resistentes a patógenos y a la sequía. En este tratamiento de masa se incorporan criterios de silvicultura orientada al árbol individual ("*single-tree oriented silviculture*") buscando favorecer los pies más interesantes a nivel de productividad o de biodiversidad. Una vez identificados los árboles de alto interés (a promover), se actúa eliminando progresivamente sus competidores a nivel de copa (generalmente árboles codominantes), manteniendo en pie aquellos

árboles del estrato inferior o de servicio, los cuales ayudan a guiar el tronco del árbol objetivo y lo protegen de la insolación. En resumen, los tratamientos que definen la GFI son:

- Estrato arbóreo: entresaca o clara selectiva a nivel de masa incorporando criterios de silvicultura de árbol. Resalveo de frondosas con varios rebrotes por cepa.
- Estrato arbustivo: desbroce selectivo con el objetivo de favorecer especies de alto valor para la biodiversidad y modificar la estructura del combustible (rotura de la continuidad vertical) para reducir la vulnerabilidad ante incendios y sequía. Resalveo de brezo y madroño de porte arbóreo.
- Plantaciones de enriquecimiento en zonas de escasa cobertura arbórea y condiciones adversas. Las plantaciones incluyen una gran diversidad de especies y grupos funcionales (coníferas y frondosas).

Se dan más detalles sobre la gestión innovadora aplicada y las zonas de estudio en otras comunicaciones presentadas en este Congreso: “Silvicultura adaptativa con criterios de árbol individual: resultados de aplicación y protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de frondosas de alto valor” (Coello et al, 2021) y “Gestión adaptativa y naturalística en bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola” (Collado et al, 2021).

3.1.2. La gestión forestal tradicional (GFT)

La GFT se define como aquella aplicada habitualmente en cada zona de estudio y tipología forestal. La GFT consiste normalmente en cortas de mayor intensidad que la GFI, centradas en la obtención de un solo producto (generalmente leñas, biomasa o sierra para embalajes). Los tratamientos se realizan a nivel de masa con el objetivo de reducir la competencia existente, seleccionando y/o aprovechando los pies más productivos. No se aplican criterios de silvicultura de árbol individual y tampoco se fomenta la presencia de frondosas esporádicas. La promoción de un solo producto da lugar a masas más simplificadas (a nivel de estructura y de especies) donde predominan individuos de rebrote. En resumen, los tratamientos que definen la GFT son:

- Estrato arbóreo: entresaca o clara selectiva de intensidad moderada o intensa. En el caso de los castañares que han llegado a final de turno, se realizan cortas a matarrasa (Ej. Montseny). En los pinares de Bellmunt y Ripollès se plantea un aprovechamiento de los mejores pinos (huroneo).
- Estrato arbustivo: desbroce sistemático. Se actúa sobre el 100% de las especies arbustivas dejando algunos pies puntuales de arbustos menos pirófitos o de interés productivo como el madroño. En casos ya transitables y/o rodales de baja productividad, no se realiza desbroce (ej. encinares del Montseny y pinares de Bellmunt-Collsabre y Ripollès).
- Plantaciones en zonas de escasa cobertura arbórea de una o dos especies generalmente coníferas y/o quercíneas en zonas donde se ha realizado un desbroce sistemático.

3.2. Evaluación económica: indicadores considerados

En la Tabla 1 se recoge la superficie y la cantidad de rodales ejecutados evaluados en este trabajo (34 de los 39 rodales totales) según la formación forestal y los macizos implicados. La implementación de la GFI se ha realizado a través de marcaje y seguimiento de las actuaciones por parte del equipo técnico del proyecto. En general, en todos los macizos se procedió a un marcaje total excepto en el Montnegre-Corredor donde se realizó el marcaje en una zona representativa (debido a problemas de transitabilidad) y se concentraron los esfuerzos en la formación de los trabajadores.

Tabla 1. Distribución de la superficie de los rodales GFI ejecutados según macizo y formación forestal (entre paréntesis número de rodales).

Macizos	Encinares	Castañares	Robledales	Pinares	Total
Montnegre-Corredor	25.1 (5)	21.2 (12)	10.5 (4)	20.1 (4)	77.0 (25)
Montseny	6.5 (1)	6.9 (1)	4.8 (1)	8.8 (1)	27.0 (4)
Ripollès	-	-	8.3 (1)	1.2 (1)	9.5 (2)
Bellmunt-Collsabra	-	-	32.3 (2)	15.4 (1)	96.6 (3)
TOTAL	31.6 (6)	28.1 (13)	55.9 (8)	45.5 (7)	161.1 (34)

Las actuaciones se desarrollaron durante las paradas vegetativas de 2017-2018 y 2018-19 excepto las plantaciones de enriquecimiento realizadas en dos rodales de pinares del Montnegre-Corredor la primavera del 2019. La aplicación de la GFI afectó a 18 propiedades forestales situadas en 11 municipios distintos e implicó a un total de 12 empresas de trabajos forestales, 3 entidades encargadas del seguimiento técnico, 9 empresas de transporte y 26 industrias forestales, cada una de ellas conocedoras de la zona de estudio dónde se encuentran. A nivel de ejecución de trabajos, intervinieron 84 trabajadores forestales y 9 técnicos de seguimiento.

La evaluación del impacto económico se realiza a través de una serie de indicadores a los que se asocian datos extraídos de los resultados de la implementación de la GFI en 34 demostrativos, así como los resultados de una hipotética implementación de la GFI en los mismos rodales (Tabla 2). Además de la evaluación del impacto económico se realiza una evaluación de las características selvícolas y del trabajo ejecutado en ambos tipos de tratamientos, así como una valoración de la aplicabilidad práctica de la GFI desde el punto de vista de las cuadrillas de trabajadores forestales.

La toma de datos se desarrolla a través de encuestas y fichas estándar y replicables, cumplimentadas durante la ejecución de las intervenciones y al finalizar las mismas a partir de información proporcionada por la totalidad empresas ejecutoras de los trabajos forestales (12), y los técnicos de seguimiento y gestión (9).

Tabla 2. Indicadores socioeconómicos para la evaluación del impacto derivado del producto.

Indicador	Datos
Evaluación técnica	
Trabajo ejecutado	Rendimientos de las cuadrillas forestales (jornales/ha) Rendimientos de los técnicos de seguimiento (jornales/ha)
Resultados técnicos	Variables dasométricas (AB, densidad y Dm) Aplicabilidad de las actuaciones
Evaluación el impacto económico	
Costes	Coste de los trabajos forestales por tipología (€/ha) Coste de la gestión técnica por tipología (€/ha) Coste del transporte (€/ha)
Ingresos	Tipología de productos Precio del producto (€/tn)
Movilización de producto	Tipología de productos Cantidad de producto extraído (tn/ha) Distancia a la industria de destino

El impacto económico se analiza desde el punto de vista de: la ejecución de actuaciones, considerando tanto los costes como las características del desarrollo de las actuaciones; y generación de producto, incluyendo movilización y comercialización. No se tiene en cuenta el valor económico derivado del impacto de los servicios ecosistémicos proporcionados por del desarrollo de las actuaciones.

3.2.1. Análisis de costes y desarrollo de las actuaciones realizadas

En primer lugar, los costes de las actuaciones realizadas se calculan en base al coste de ejecución (mano de obra, maquinaria, otros costes) y de planteamiento y seguimiento (señalamiento, replanteo y control de obra). Esta información se basa en los siguientes datos:

- Rendimientos de las cuadrillas forestales (jornales/ha): se cuantifican los jornales destinados según el tipo de actuación (apilar, cortar, desbrozar, desemboscar, clasificar producto, plantación o marcaje) y la categoría del trabajador (motoserrista, peón, tractor/tractorista o autocargador) asignando a cada uno un precio (€/jornal). A partir de estos rendimientos se obtiene el coste de los trabajos forestales (€/ha).
- Rendimientos de los técnicos de seguimiento (jornales/ha): se cuantifican los jornales destinados según el tipo de actuación (acciones previas - replanteo, visitas con las empresas etc. -, marcaje, seguimiento de las actuaciones) y según la categoría del trabajador (técnico o ingeniero), asignando a cada uno un precio (€/jornal). A partir de estos rendimientos se obtiene el coste de gestión técnica (€/ha).
- Número máximo de trabajadores implicados: a nivel de cuadrillas y de técnicos.

No se tiene en cuenta el coste de los trabajos auxiliares como la mejora de los accesos, ya que dependen principalmente de las características de cada rodal y no son relevantes para comparar GFI con GFT. Los precios unitarios de los rendimientos (jornales/ha) se han establecido a partir de un valor medio de los 4 macizos con el objetivo de poder comparar los resultados entre zonas de estudio.

En el caso de la GFI los datos se extraen de la información recopilada durante el desarrollo de las actuaciones, mientras que, para la GFT, al tratarse de actuaciones hipotéticas, esta información se extrae de encuestas realizadas las cuadrillas forestales ejecutoras de los trabajos al finalizar la actuación de cada rodal, así como la experiencia de los socios del proyecto encargados del seguimiento técnico, obteniendo unos valores por comparación a las actuaciones GFI realizadas.

Respecto al desarrollo de las actuaciones, este se evalúa a partir de los siguientes datos:

- Variables dasométricas: se obtiene el área basimétrica (AB m²/ha) y la densidad (pies/ha) final para cada una de las principales especies de cada rodal (>10% AB) a partir de inventarios periciales realizados de antes y después de las actuaciones GFI. Los valores hipotéticos de GFT se obtienen de la experiencia de los socios en actuaciones similares en cada macizo.
- Viabilidad de la aplicación práctica de la GFI: desde el punto de vista de las cuadrillas forestales recogida a través de encuestas al finalizar las actuaciones.

3.2.2. Ingresos y costes asociados a la movilización y comercialización de producto

El impacto económico de las intervenciones en la generación de los productos obtenidos se evalúa nivel cuantitativo (cantidad de producto), cualitativo (tipo de productos), y de movilización. Para ello, se recogen los siguientes datos de cada rodal:

- Tipo de producto: leñas, trituración y sierra para palet. Diferenciando entre especies si la industria hace esta distinción.
- Precio del producto (€/tn) según tipo de producto y especie. Se establecen unos precios comunes para las 4 zonas de estudio calculando un valor medio según tipo de producto y especie.
- Cantidad (tn) de cada tipo de producto.
- Industria de destino: nombre y municipio de la industria para conocer la distancia que ha recorrido este producto para su transformación.
- Coste de transporte: precio del transporte hasta la industria de destino estableciendo un valor medio según producto para el conjunto de zonas de estudio.

Los datos de la GFI se obtienen de la cuantificación, clasificación y movilización de los productos obtenidos de los rodales demostrativos, mientras que en el caso de la GFT se obtiene de encuestas a las empresas ejecutoras, y personal técnico al finalizar las actuaciones por comparación con los valores obtenidos de la GFI.

Para facilitar la comparación y disminuir el número de rodales existentes, se han agrupado los rodales con características similares. Así, cada agrupación (A, B, C, etc.) integra los resultados, ponderados por superficie, de entre uno y tres rodales con características similares entre sí.

4. Resultados

A continuación, se describen los resultados más relevantes obtenidos de la evaluación técnica y económica para cada uno de los indicadores de impacto descritos en la Tabla 1.

4.1. Evaluación técnica

Indicador 1: Trabajo ejecutado

La implementación de la GFI supuso una dedicación media de 13,1 jornales/ha en los trabajos forestales y 1,6 jornales/ha en el seguimiento técnico, mientras que con la aplicación de la GFT los rendimientos mejoran, reduciendo un 10% el tiempo dedicado a los trabajos forestales (11.9 jornales/ha) y un 60% el seguimiento técnico (0.5 jornales/ha). Sin embargo, estos valores difieren según la formación forestal y, sobre todo, según la zona de estudio debido a sus particularidades (ej. densidad y composición del sotobosque, orografía), especialmente en el caso de los trabajos forestales. Así, los macizos con rendimientos de trabajos forestales más dispares son el Montnegre-Corredor (18,4 jornales/ha) del Ripollès (9,7 jornales/ha).

Indicador 2: Resultados técnicos

Antes de las intervenciones, los rodales presentaban una estructura muy simplificada y centrada en clases diamétricas intermedias (20 cm), una fuerte continuidad horizontal y vertical de combustible y rebrotes poco vigorosos.

La GFI da lugar a masas más estratificadas, discontinuas horizontal y verticalmente, con una reducción del área basal generalmente de entre el 15 y el 30% y con una más alta proporción de frondosas esporádicas y de especies poco representadas. Además, se prevé que la generación de aperturas derivadas de la extracción de pies codominantes favorezca el desarrollo de frondosas y fomente la regeneración incipiente. En cuanto al estrato arbustivo se reduce desde un 40-100% inicial hasta un 15-50% final (en función de la composición y la transitabilidad) actuando especialmente sobre los matorrales de más de 1,3 m de altura de las especies pirófitas, abundantes y con bajo interés para la biodiversidad (no productoras de refugio o fruto).

La GFT, por el contrario, da lugar a una mayor reducción de área basimétrica (AB), generalmente entre 25-50%. En los castañares, donde en algunos rodales se aplica una corta a hecho, esta reducción puede llegar al 85%. La reducción de AB también suele ser más alta en los pinares, debido a la extracción de pinos de gran tamaño. Respecto a la proporción de frondosas esporádicas, con la aplicación de la GFT se ve disminuida ligeramente respecto a la situación inicial. En cuanto al estrato arbustivo, la aplicación de un desbroce sistemático reduciría la cobertura de sotobosque inicial del 40-100% al 10-15%, dejando en ocasiones especies interesantes a nivel productivo como el madroño, sin tener en cuenta el interés para la biodiversidad.

A pesar de estos rasgos generales, los resultados dasométricos de la aplicación de GFI y GFT son variables dependiendo del estado inicial del rodal, la formación forestal y zona de estudio. Así, por un lado, tanto en el Ripollès como Bellmunt-Collsabre, con rodales de baja AB inicial, las actuaciones de GFT son suaves, tomando valores similares a las de GFI. En el Montseny, en cambio,

las actuaciones tanto de GFI como GFT son más intensas, éstas últimas reduciendo el AB alrededor del 45-50%. Asimismo, cabe destacar la variabilidad de la presencia de frondosas esporádicas, más abundante y diversa en los castaños del Montnegre-Corredor y los robledales del Ripollès y Bellmunt-Collsacabra.

A nivel de aplicabilidad, la mayoría de cuadrillas consideran que la GFI, generalmente novedosa para ellos, es aplicable una vez aprendidos los criterios de ejecución, especialmente en el caso de los encinares (100%) y castaños (92%). En los robledales y pinares, aproximadamente el 65% de las cuadrillas consideran que se trata de tratamientos aplicables, pero con algunas limitaciones. Entre ellas, muchas cuadrillas coinciden en que la aplicación de la GFI requiere una mayor concentración (23%), especialmente en las zonas no marcadas, donde la dificultad radica en la decisión de qué árbol cortar (36%), implicando, a menudo, un aumento de tiempo en la corta (12%). Cabe decir que un 38% consideran que la aplicabilidad depende más de las características iniciales del rodal (ej. vegetación arbustiva, pendiente, etc.) que del tipo de gestión aplicada.

4.2. Evaluación del impacto económico

Indicadores 3, 4, 5: Costes, Ingresos y Balance económico

A nivel global, el **balance económico** muestra que ni la GFI ni la GFT son económicamente sostenibles (Tabla 2). En general, la GFT es más favorable, siendo de media un 2% más barata en el Montnegre-Corredor, un 40% más barata en el Montseny, un 57% más barata en el Ripollès y un 39% más barata en Bellmunt-Collsacabra. Por un lado, este hecho se debe a la reducción de costes de la GFT a causa de: la mayor rapidez (o no ejecución) del desbroce; la compensación, en algunos casos, del mayor tiempo de corta y desembosque (corta de mayor cantidad de árboles) por la rapidez de decisión en la selección y menor esfuerzo en clasificación de productos; y la no necesidad marcaje y formación de los trabajadores. Por otro lado, en la GFT se produce un incremento de ingresos derivado de la obtención de una mayor cantidad de producto, aunque de bajo valor.

Tabla 3. Balance medio ponderado (€/ha) de las actuaciones según la zona de estudio, la formación forestal y la aplicación de una gestión GFI o GFT.

Formación forestal	GFI (€/ha)	GFT (€/ha)	Diferencia GFI – GFT (€/ha)
Montnegre Corredor			
Encinares	-1.180	-1.125	-55
Castaños	-2.084	-1.909	-175
Robledales	-772	-840	+68
Pinares	-1.833	-1.856	+23
Montseny			
Encinares	-1.016	-591	-425
Castaños	-1.520	-693	-827
Robledales	-407	-499	+92
Pinares	-1.015	-584	-431
Ripollès			
Robledales	-1.559	-1.006	-553
Pinares	-1.996	-516	-1480
Bellmunt- Collsacabra			
Robledales	-1.383	-1.053	-330
Pinares	-748	-241	-507

En la Figura 1 se muestran los balances económicos de rodales tipo, que agrupan un o varios rodales de características similares, según formación forestal, macizo y tratamiento.

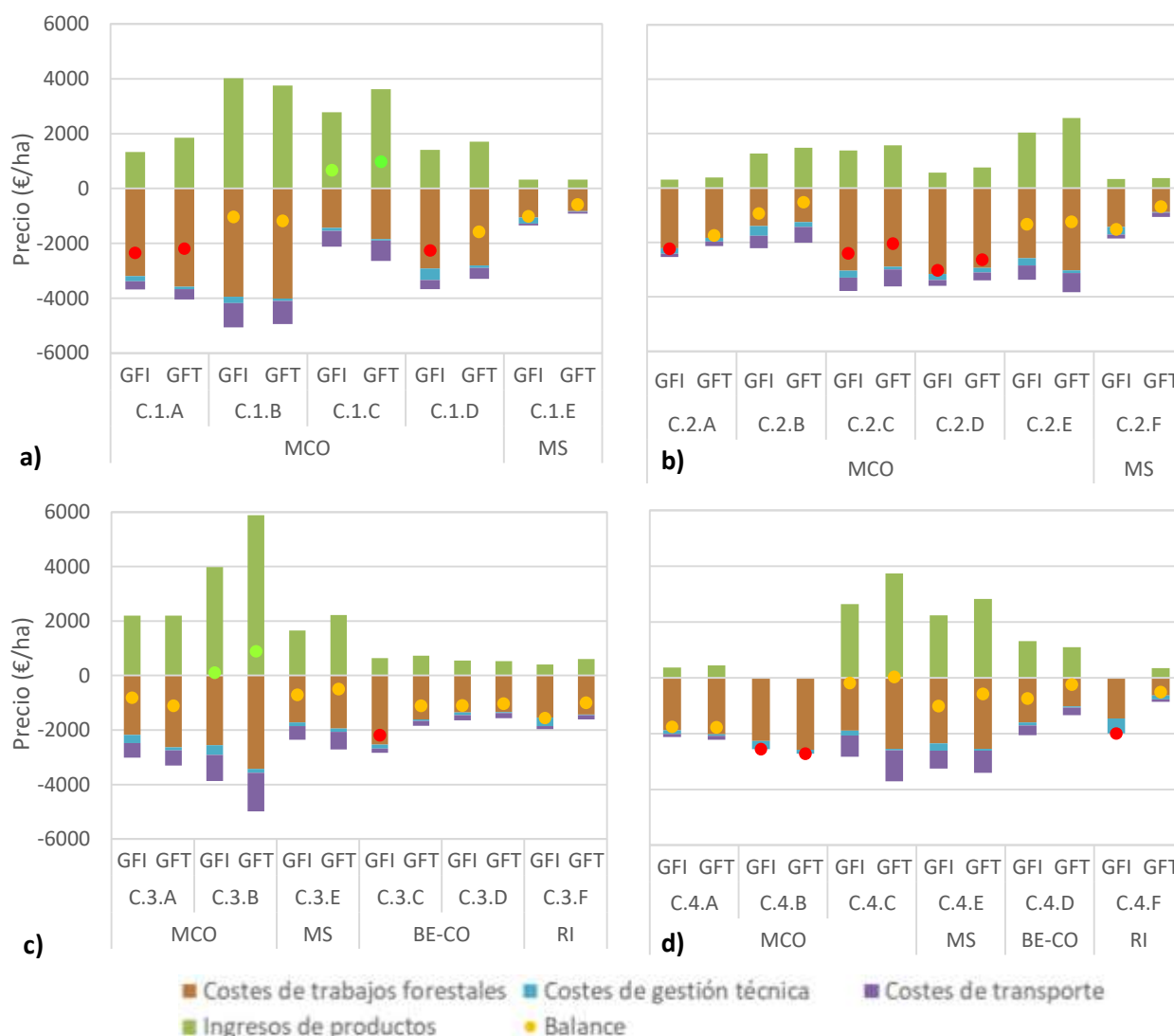


Figura 4. Costes e ingresos de la aplicación de GFI o GFT para cada formación forestal (a: encinares; b: castañares; c: robledales; d: pinares) y rodal tipo. El punto dentro de cada barra marca el balance: positivo (verde), negativo hasta -2000€/ha (amarillo) y negativo con más de -2000€/ha (rojo). MCO: Montnegre-Corredor, MS: Montseny, BE-CO: Bellmunt-Collsabre, RI: Ripollès.

Se advierte que, en general, para todas las zonas de estudio, los costes y los ingresos dependen más del estado inicial del rodal y del tipo de producto obtenido que del tipo de gestión aplicada. Así, en los rodales más desarrollados y capitalizados ($AB > 32 \text{ m}^2/\text{ha}$ y $D_g > 20 \text{ cm}$), los balances son más favorables (ej. C1C, C3B y C4C) pudiendo llegar a ser más favorable la GFI que la GFT (C3A). En estas masas es posible obtener un mayor volumen de producto, concentrado en la corta de pocos árboles más grandes, y en algunos casos, de mayor valor (ej. roble y cerezo para sierra de calidad). De esta manera, el incremento de los ingresos y el menor coste de los tratamientos (menor esfuerzo de corta) pueden llegar a compensar el coste de marcaje, formación, decisión y clasificación del producto.

En cambio, en los rodales más jóvenes o con bajas densidades, donde el volumen de producto extraído es inferior o de bajo valor, los balances son menos favorables (ej. C1A, C2D), siendo generalmente más favorable la GFT debido al menor coste de seguimiento técnico, y al mayor volumen de producto generado que produce unos mayores ingresos que la GFI. Por ejemplo,

los rodales de castaño presentan unos ingresos muy bajos debido al bajo valor del producto extraído, mayoritariamente utilizado para trituration. En el caso del rodal tipo C4B no hay ingresos al ser una zona de escasa cobertura arbórea en donde los trabajos ejecutados fueron un desbroce y una plantación de enriquecimiento. Tampoco los hay en el rodal C4F donde solo se cortaron algunos árboles muertos que se dejaron in situ.

En cuanto a los **ingresos** generados, la GFI generalmente da lugar a unos ingresos inferiores a los de la GFT (-4-33%) especialmente en los pinares del Montnegre-Corredor (-28%) o en los robledales del Ripollès (-33%) donde la cantidad de productos extraído ha sido baja y de escaso valor. En los encinares del Montnegre-Corredor y del Montseny y en los robledales de Bellmunt-Collsabra la diferencia de ingresos entre tratamientos ha sido mínima (0-4%) ya que en ambos tratamientos han extraído un volumen similar de producto, pero de dimensiones diferentes (ej. pocos codominantes en la GFI y muchos dominados en la GFT). Sólo en el caso del rodal de pino de Bellmunt-Collsabra (C.4.D) los ingresos de la GFI han sido mayores (+19%) a los de la GFT debido a que, mientras en la GFT sólo se han extraído pinos para embalaje, en la GFI se ha extraído también leñas, trituration y una pequeña parte para desenrollo.

A nivel de tipología de productos, los más abundantes en ambos tipos de gestión han sido: leñas en los encinares (90-100%) y robledales (60-70%), la sierra para palet en los pinares (40-50%) y la trituration en pinares (15-20%) y castaños (70-80%). Aunque en algunos rodales de roble (C.3.A) y de castaño (C.2.B, C.2.E) del Montnegre-Corredor se ha extraído algunos pies (generalmente de roble, castaño y cerezo) para sierra de calidad (16% del producto en robledales y 13% del producto en castaños), esta cantidad no ha sido suficiente para superar los ingresos obtenidos por la GFT en esos rodales.

Los valores de los ingresos se encuentran entre 325-3.020 €/ha para la GFI y entre 325-3.140 €/ha. Los encinares del Montnegre-Corredor, los robledales del Montnegre-Corredor y del Montseny, y los pinares del Montseny han sido las formaciones forestales que dan lugar a mayores ingresos (1.650-3.140 €/ha) debido a una mayor extracción de productos derivado del estado inicial de los rodales más capitalizados (ej. encinares C.1.B) y con productos de mayores dimensiones (ej. robledales C.3.B).

En cuanto a los **costes**, en global, la GFI da lugar a valores superiores que la GFT en todas las zonas de estudio (+14% en el Montseny, +37% en el Ripollès y +25% en Bellmunt-Collsabra) excepto el Montnegre-Corredor donde la GFI es un 6% más barata que la GFT. El valor de los costes totales se sitúa entre 1.850-4.200 €/ha en la GFI y 860-4.270 €/ha en la GFT. Los encinares, castaños y robledales del Montnegre-Corredor y los pinares del Montseny son las formaciones con mayores costes totales.

Los **costes de los trabajos forestales** son los que influyen en mayor medida a los costes totales (generalmente entre un 70-90% en ambos tipos de gestiones), especialmente los tratamientos sobre el estrato arbóreo (cortar + apilar + desemboscar) siguiendo una tendencia similar a los costes totales. Sin embargo, este hecho también depende de la formación y del estado inicial de los rodales tanto a nivel arbóreo como arbustivo. Así, los trabajos sobre el estrato arbóreo son más baratos en la GFI que en la GFT, tanto en los robledales y los pinares del Montnegre-Corredor (-25% y -18%) como del Montseny (-32% y -13%), debido a la reducción en el número de pies abatidos, que compensa los incrementos de costes de selección y clasificación de los árboles. Por el contrario, los costes de los trabajos sobre el estrato arbóreo son inferiores en la GFT en los castaños del Montseny (-38%), donde se realiza una corta a matarrasa (más rapidez de ejecución), y los robledales y pinares de Bellmunt-Collsabra (-4% y -18% respectivamente) donde en la GFT sólo se cortan los árboles de más interés comercial.

A nivel arbustivo, el desbroce selectivo de la GFI, en general, supone un coste más alto (+12% Montnegre-Corredor, +38% en el Montseny, +77% en el Ripollès y +26% en Bellmunt-Collsabra) que el desbroce total o inexistente de la GFT, ya que implica un mayor tiempo para la realización de la selección. Sólo en el caso de los pinares del Montnegre-Corredor, el desbroce de la GFI es más barato (-4%) debido a la gran abundancia de sotobosque y la mayor cantidad de restos que supondría un desbroce total. En el caso del Montseny, no se observan diferencias entre ambos tipos de gestión en los robledales y pinares debido a que el sotobosque es poco leñoso y la aplicación de la GFI es más rápida.

En resumen, los costes totales de los trabajos forestales son muy variables y, a menudo, dependen más del estado inicial del rodal que de la formación o el tratamiento, tomando valores de 1.050-3.330 €/ha en la GFI y 630-3.500 €/ha en la GFT). Los costes son mayores en la zona del Montnegre-Corredor debido principalmente a su complicada orografía (fuertes pendientes) y un sotobosque muy denso e intransitable que dificultan el paso de los trabajadores y empeora los rendimientos.

En cuanto a los **costes de gestión técnica**, la GFI es un 51-83% más cara que la GFT en el total de formaciones y zonas de estudio, si bien este coste supone tan solo el 5-26% de los costes totales en la GFI (105-540 €/ha) y el 1-16% en la GFT (25-145 €/t). Este hecho es debido a la necesidad de marcaje, seguimiento y formación de los trabajadores. Mientras que en los robledales del Montseny los costes de gestión de la GFI son sólo un 13% más altos, en los robledales del Ripollès y en los castaños del Montseny, con mayor cantidad de árboles de alto valor a liberar, es donde los incrementos son mayores (93 y 91% respectivamente).

Estos costes de gestión se encuentran repartidos entre el seguimiento de las actuaciones y el marcaje de manera muy variable. Así, mientras que en el Montnegre-Corredor, donde el marcaje sólo se realizó en una zona representativa, el seguimiento de las actuaciones supuso entre un 64-80% y el marcaje sólo un 5-28% del total; en los castaños del Montseny y los robledales del Ripollès, el marcaje supuso un 50 y un 33% del total.

Por último, los **costes de transporte** se encuentran ligados a la cantidad (t/ha) de producto extraído por cada zona y formación. De esta manera, los costes de la GFI son 3-32% más baratos que la GFT ya que las cantidades extraídas son más bajas. Los costes de transporte suponen un 5-23% de los costes totales tanto en la GFI (65-645 €/ha) como en la GFT (65-790 €/ha), dependiendo de la cantidad de producto extraído.

Indicador 6: Movilización del producto

La aplicación de la GFI ha generado una media de 21,9 tn/ha de madera mientras que la GFT genera una media de 26,2 tn/ha (+16%). Sin embargo, la extracción de producto es muy variable según el estado inicial de los rodales, formación forestal y zona de estudio. Así, en el Montnegre-Corredor, donde los rodales se encontraban más capitalizados la extracción de producto es de 37,4 t/ha en la GFI y 47,8 en la GFT, mientras en Bellmunt-Collsabra (20,0 t/ha en la GFI y 15,5 t/ha en la GFT) y en el Ripollès (4,0 t/ha en la GFI y 9,3 t/ha en la GFT) los valores extraídos son mucho más bajos, este último debido al estado inicial del rodal (bajas densidades de árboles jóvenes).

La mayor parte de industrias se encuentran a menos de 30 km de los rodales. Las más alejadas suelen ser las industrias de sierra para palet o trituración (45 - 100 km), mientras que las industrias de leñas (normalmente más abundantes) se suelen encontrar más cercanas a los rodales (menos de 20 km). Los productos derivados de la aplicación de la GFI como algunas las frondosas para sierra (90 km) o el desenrollo (70 km) también tienen destinos más alejados de los rodales. Sin embargo, en algunos casos como el Montnegre-Corredor, existen opciones de comercialización a pequeña escala en destinos cercanos (ej. artesanos, carpinteros, etc.). El Montnegre-Corredor y el

Ripollès son las zonas con industrias más cercanas (menos de 20 km), especialmente la de las leñas (5 km). En Bellmunt-Collsabra, en cambio, la mayor parte de industrias se encuentran más alejadas del rodal, incluso las de leñas (30 km).

5. Discusión

El estudio realizado evalúa una primera aplicación de la GFI, de adaptación, en masas que no habían estado gestionadas previamente con esta selvicultura, y con cuadrillas de trabajadores que desconocían estos principios; y la GFT, que se ha estado aplicando en esas masas durante décadas, con cuadrillas que tienen sus criterios muy interiorizados. Así, la GFI se puede considerar una intervención de transición, dónde se mejora progresivamente la estructura de estas masas buscando incrementar su resiliencia y diversidad, así como una rentabilidad económica a medio plazo, no inmediata después de una primera intervención. La GFT, en cambio, está orientada a conseguir la mayor viabilidad económica posible a corto plazo sin poner en riesgo la estabilidad de la masa. De esta manera, se considera lógico que esta primera intervención de GFI no sea competitiva con la GFT.

A la larga, se espera que aplicaciones sucesivas de la GFI mejoren la rentabilidad progresivamente. De este modo, los costes de gestión técnica se verán reducidos debido, por un lado, a un menor esfuerzo de formación a los trabajadores, a medida que se interioricen los criterios de los tratamientos; y, por el otro, una mayor facilidad en el marcaje a medida que se diferencien los pies de mayor valor comercial, promovidos activamente por esta selvicultura. Este hecho también facilitará la decisión en la selección durante los trabajos forestales, en aquellos rodales donde no es posible el marcaje, mejorando los rendimientos de corta.

Otro factor que incide fuertemente en el balance económico es el desbroce, ya que se trata de un coste que no produce ingresos. El hecho de realizar un desbroce selectivo con una aplicación importante de resalveo, a la vez de la promoción de una selvicultura de cubierta continua, buscando minimizar el rebrote de las especies arbustivas, puede hacer disminuir los costes de desbroce en las próximas aplicaciones de la GFI debido a una posible disminución de la densidad del estrato arbustivo en comparación con la GFT.

En cuanto a los ingresos, durante la primera aplicación de la GFI, los árboles codominantes extraídos no presentaban grandes diámetros y muchos se encontraban mal conformados dando lugar a poco volumen de producto y de bajo valor añadido. Este hecho espera revertirse en la aplicación continuada de la GFI dónde los árboles codominantes a extraer aumentarán progresivamente su valor.

Respecto a la movilización de este producto generado, este depende de las vías de comercialización disponibles en cada zona de estudio, cuya cercanía o lejanía puede llegar a afectar a los costes de transporte (no considerado en este estudio). Un análisis exhaustivo de la logística de las actuaciones en BMMS y de la comercialización de producto en el ámbito del Montnegre-Corredor se detallan en la comunicación “Desarrollo de un sistema piloto de logística y comercialización de productos forestales de los bosques mixtos submediterráneos subhúmedos” (Guitart, et al, 2021), presentada en este mismo Congreso.

Por último, es importante tener en cuenta que la información proveniente para la determinación de los valores de la GFT proviene de la experiencia de los actores involucrados en las actuaciones forestales de cada zona de estudio, de manera que los resultados están sometidos a la subjetividad de cada uno de ellos. Para obtener datos más objetivos hubiese sido necesaria la realización de actuaciones GFT en zonas similares a los rodales más representativos de cada formación y zona de estudio.

6. Conclusiones

Las conclusiones derivadas del presente estudio son las siguientes:

- LA GFI promueve la presencia de frondosas esporádicas y la mejora de la biodiversidad a través de actuaciones generalmente más suaves que la GFT. Asimismo, se considera un tipo de gestión aplicable por la mayoría de cuadrillas forestales, especialmente si se realiza un marcaje previo o en masas con pocos pies de árboles de futuro a liberar.
- Actualmente, ni la GFI ni la GFT son económicamente sostenibles. El balance, en general, es más favorable en la GFT aunque la cifra final se ve más condicionada por el estado inicial de los rodales que por el tipo de gestión aplicada. Así, en las masas más capitalizadas, los balances son más favorables, llegando a ser incluso más favorables a la GFI si se obtienen productos de mayor valor añadido.
- El balance económico de la GFI se ve penalizado principalmente por el incremento del coste de desbroce (más selectivo) y de señalamiento, selección y clasificación de productos, y también por el menor volumen de madera extraído.

La GFI se puede considerar como una apuesta de gestión que busca mejorar los indicadores de adaptación al cambio climático (diversidad de especies y estructuras, incremento del vigor y la estabilidad individual y colectiva) a corto-medio plazo. Sin embargo, el objetivo de mejora de la sostenibilidad económica espera cumplirse a medio plazo, cuando la aplicación reiterada de esta selvicultura vaya generando masas estructuradas de manera cada vez más favorable a esta gestión, con la disponibilidad de pies de alto valor comercial que tengan un fuerte impacto en los ingresos generados por la gestión.

7. Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias a la cofinanciación del programa LIFE (LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060)). Agradecemos la colaboración de las personas implicadas en la toma de datos y seguimiento de las actuaciones por parte del CTFC, CPF, APMC, APFSBE.

8. Bibliografía

CTFC, CPF, APMC, APSBE (2018). Pliego de condiciones técnicas de las intervenciones demostrativas a implementar en los rodales C1-C4. LIFE MixForChange. LIFE15 CCA/ES/000060. Disponible en: <https://mixforchange.es> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CTFC, CPF, APMC, APSBE (2019). Documento de descripción técnica de los modelos innovadores de gestión aplicados: caso de los encinares. LIFE MixForChange. LIFE15 CCA/ES/000060.

CTFC, CPF, APMC, APSBE (2019). Documento de descripción técnica de los modelos innovadores de gestión aplicados: caso de los castaños. LIFE MixForChange. LIFE15 CCA/ES/000060.

CTFC, CPF, APMC, APSBE (2019). Documento de descripción técnica de los modelos innovadores de gestión aplicados: caso de los robledales. LIFE MixForChange. LIFE15 CCA/ES/000060.

CTFC, CPF, APMC, APSBE (2019). Documento de descripción técnica de los modelos innovadores de gestión aplicados: caso de los pinares. LIFE MixForChange. LIFE15 CCA/ES/000060.



Anexo 9. Artículo “Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor y su aplicación en silvicultura adaptativa con criterios de árbol individual”



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

Selvicultura adaptativa con criterios de árbol individual: resultados de aplicación. Protocolo de clasificación visual de la madera en pie de frondosas de alto valor

COELLO GÓMEZ, J.¹, COLLADO COLOMA, E.¹, BELTRÁN BARBA, M.¹, MOURA DE ABREU, L.¹, GUITART XARPELL, L.², BAIGES ZAPATER, T.³, GARCIA CODINA, Q.³, VIGUÉ RUAIX, J.⁴, ROVIRA BLANCO, J.⁵, PIQUÉ NICOLAU, M.¹

¹ Programa de Gestión Forestal Multifuncional. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC).

² Associació de Propietaris del Montnegre-Corredor (APMC)

³ Centre de la Propietat Forestal (CPF)

⁴ Associació de Propietaris Forestals de Serra de Bellmunt-Collsabre (APFSBE)

⁵ Diputació de Barcelona (DIBA)

Resumen

La selvicultura orientada al árbol individual centra la gestión forestal en los pies más interesantes desde el punto de vista económico (valor de la madera) y/o de la biodiversidad (especies escasas, con dendro-microhábitats, productoras de fruto...). Los bosques mixtos con presencia de frondosas de alto valor (roble, cerezo, fresno, arce, serbal...) son especialmente interesantes para aplicar esta selvicultura. En el proyecto LIFE MixForChange se ha implementado una selvicultura adaptativa con criterios de gestión naturalística y orientada al árbol individual en 197 ha mixtas de encinar, castañar, robledal y pinar. En esta superficie se han establecido 70 parcelas de seguimiento para identificar, caracterizar y promover (claras selectivas) 481 árboles clasificados como de alto interés. Este trabajo describe cómo se ha incorporado a la gestión la identificación y promoción de estos pies, los motivos para promoverlos y discute el potencial de este enfoque para fomentar la sostenibilidad económica y ecológica de la gestión. Además, se presenta el “Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor” que pretende facilitar la evaluación rápida de la calidad de la madera en pie y los posibles destinos industriales para las principales especies de planifolios de valor.

Palabras clave

Selvicultura naturalística, Pro Silva, cambio climático, madera de calidad, biodiversidad, planifolios.

1. Introducción

1.1. Principios generales de la Selvicultura Orientada al Árbol Individual

La Selvicultura Orientada al Árbol Individual (SOAI, en lo sucesivo) consiste en realizar las intervenciones en función del papel, actual o potencial, que tiene cada árbol en el rodal. Se trata de una corriente nacida en el Oeste de Alemania (Abetz, 1993; Wilhelm, 2003) en los que se buscaba mejorar los resultados económicos de la gestión mediante la producción de productos de alto valor añadido, especialmente mediante la protección y valorización de frondosas esporádicas productoras de madera de alta calidad (Spiecker, 2003; Mori & Pelleri, 2014). A nivel práctico, la aplicación de SOAI consiste en asignar los árboles a tres posibles categorías:

a) Árbol a promover: cumple un papel destacado para los objetivos de la gestión (interés económico, ecológico, cultural), por lo que se interviene en su favor. Estos árboles se denominan Árbol de Alto Interés (AAI, en lo sucesivo). Las principales intervenciones planteadas son claras selectivas en su favor, poda y resalveo. Los AAI también reciben el nombre de “árbol de futuro” o “árbol de valor”.

b) Árbol a eliminar (AE, en lo sucesivo): su presencia tiene un efecto negativo sobre uno o varios AAI, generalmente, por hacer una fuerte competencia por los recursos (luz o agua). Estos árboles no son necesariamente aquellos cuyo tronco es más cercano al de AAI, sino los que limitan en mayor medida el desarrollo de la copa de éste. Por tanto, la identificación de AE se hace observando las copas, y también considerando otros aspectos como el temperamento de ambas especies, la orientación y la posición en la pendiente: los árboles más tolerantes a la sombra, situados al sur y a mayor cota ejercen una competencia más intensa por la luz que los árboles intolerantes, situados al norte y a menor cota. También se consideran AE aquellos pies que en intervenciones previas fueron identificados como AAI por su interés económico, y ya han alcanzado su turno tecnológico, es decir, el momento a partir del cual su mantenimiento en pie no los revalorizará más, por lo que es conveniente su aprovechamiento. Estos árboles se denominan árbol de cosecha.

c) otros árboles: pies que no son ni AAI ni AE.

La implementación de la SOAI se centra, por tanto, en cortar (o anillar, si es más conveniente desde el punto de vista económico, técnico y ambiental) los AE, en forma de claras selectivas en favor de los AAI. La superficie del rodal en la que no se hayan identificado AAI puede mantenerse sin intervención o bien se pueden aplicar métodos de selvicultura convencional si se considera necesario y viable. La asignación de un árbol a una categoría puede variar en las sucesivas intervenciones en el rodal: además del caso mencionado de un AAI que alcanza su turno tecnológico, en cada intervención se identifican nuevos AE; nuevos árboles pueden pasar a ser AAI, etc.

El resultado de la aplicación reiterada de esta selvicultura es la creación y ampliación progresiva de espacios alrededor de los AAI, fomentándose así su vitalidad, crecimiento regular y vigoroso y su fructificación, gracias a la expansión de su copa.

Para ser eficaz, este tipo de selvicultura debe aplicarse:

- Con una intensidad moderada, para evitar la puesta en luz brusca de los AAI, especialmente si éstos han estado sujetos a una fase prolongada de compresión lateral o si han sido identificados por su interés para la producción de madera de calidad y son sensibles a la generación de brotes epicórmicos.
- Con una recurrencia relativamente frecuente, que puede variar entre 6 y 15 años en función de la productividad de la estación (Pelleri *et al*, 2013). Esta recurrencia exige un compromiso por parte del personal gestor, ya que, en caso de retraso severo, los AAI pueden entrar en una fase de compresión de la copa que reduzca notablemente su crecimiento y provoque la muerte de ramas gruesas y su devaluación económica.
- Por personal capacitado y experimentado en selvicultura, ecología forestal, tecnología de la madera y técnicas de aprovechamiento, para garantizar un señalamiento adecuado.

Además de los beneficios ambientales propios de una selvicultura detallada, este enfoque permite una reducción notable de los costes de los trabajos forestales y un incremento de la disponibilidad de pies de alto valor, dos factores que pueden incrementar notablemente la sostenibilidad económica de la gestión a medio plazo.

1.2. Relación de SOAI con la estructura de masa, objetivos selvícolas y planificación forestal

Si bien el planteamiento de SOAI es muy flexible, está especialmente alineado con una serie de condiciones:

- Características de masa: los resultados son especialmente favorables en masas que presenten una cierta diferenciación a nivel de estratos y especies, en las que sea posible identificar los pies de mayor interés o potencial tecnológico-económico y ambiental.

- Selvicultura Naturalística, también conocida como “selvicultura próxima a la naturaleza” o “selvicultura Pro Silva”: SOAI se considera como parte o como variante de la selvicultura naturalística (Beltrán et al, 2020). Esta corriente no se define por recetas cuantitativas, sino que se basa en la aplicación de intervenciones selvícolas detalladas, en base a un profundo conocimiento del ecosistema forestal y del contexto socioeconómico de cada monte. García y Calama (2013) identifican seis principios básicos de la selvicultura naturalística: i) mantenimiento de las condiciones edafoclimáticas del bosque; ii) diversidad estructural vertical y horizontal; iii) mezcla de clases de edad y de especies; iv) selvicultura orientada al árbol individual; v) promoción de especies y procedencias autóctonas; y vi) regeneración natural. Este enfoque tiene su origen a finales del siglo XIX (Barcenilla et al, 2005), si bien suscita un interés creciente en las últimas décadas (Wilhelm & Rieger, 2013), tanto en condiciones templadas como tropicales y sub-tropicales (Rockwell et al, 2007; Villegas et al, 2009), con la mención expresa de su necesidad de promoción en la nueva Estrategia Forestal Europea para 2030.

- Ordenación por rodales: la aplicación de una selvicultura detallada debe ir ligada a una planificación que incorpore asimismo criterios de actuación a pequeña escala, por lo que la ordenación por rodales es el método que mejor se ajusta a SOAI (González et al, 2011; Sabín et al, 2013).

1.3. El proyecto LIFE MixForChange

LIFE MixForChange (www.mixforchange.eu) tiene como objetivo contribuir a la adaptación y a la resiliencia de los bosques mixtos subhúmedos mediterráneos ante el cambio climático, favoreciendo su conservación y el mantenimiento de sus funciones productivas, ambientales y sociales. En el marco de este proyecto (2016-2022) se han implementado tratamientos de selvicultura adaptativa integrando criterios de selvicultura naturalística y de SOAI en 197 ha de masas mixtas de encinar, castaño, robledal y pinar en el Mediterráneo sub-húmedo catalán. Las intervenciones selvícolas y sus efectos se detallan en la comunicación “Gestión adaptativa y naturalística en bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola” mientras que el balance económico de esta selvicultura se describe en la comunicación “Evaluación económica de la selvicultura adaptativa al cambio climático en bosques mediterráneos subhúmedos catalanes”, ambas presentadas a este Congreso.

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son tres:

- a) Presentar los criterios de selección y liberación de Árboles de Alto Interés (AAI) en las 197 ha de tratamientos selvícolas demostrativos del proyecto LIFE MixForChange.
- b) Describir las principales características de los 481 AAI estudiados.
- c) Presentar el “Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor” (Coello et al, 2020), una herramienta de ayuda a la aplicación de selvicultura orientada al árbol individual, en concreto, para facilitar la identificación y caracterización de AAI con interés para producir madera de calidad.

3. Metodología

3.1. Área de trabajo

El área de trabajo abarca cuatro macizos (Montnegre-Corredor, Montseny, Bellmunt-Collsabra y sur de la comarca del Ripollés) situados en las provincias de Barcelona y Girona, con un clima mediterráneo sub-húmedo. Este clima se caracteriza por una temperatura media anual suave (12 – 14 °C), una alta pluviometría anual (750 - 1.000 mm) y una sequía estival poco marcada. Los suelos del área de trabajo son diversos, tanto silíceos (con predominio de texturas ligeras) como calcáreos.

Las formaciones forestales, casi siempre mixtas, están dominadas principalmente por encina (*Quercus ilex* ssp. *ilex*), castaño (*Castanea sativa*; Figura 1), roble (*Quercus canariensis*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*; Figura 2) o pino (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*).



Figura 1. Castañar mixto demostrativo.



Figura 2. Robledal mixto demostrativo.

3.2. Selvicultura aplicada

En esta área se han aplicado tratamientos de selvicultura adaptativa con criterios de selvicultura naturalística y orientada al árbol individual en 197 ha repartidas en 39 rodales. Las intervenciones fueron realizadas durante las paradas vegetativas 2017-18 y 2018-19, y se describen en detalle en la comunicación “Gestión adaptativa y naturalística en bosques mixtos mediterráneos subhúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola”, presentada en este mismo Congreso. Se resume a continuación cómo se han incorporado criterios de SOAI en la selvicultura aplicada.

Los AAI se han identificado como aquellos que presentan unas características especialmente interesantes por su interés, actual o potencial, a nivel:

- económico: frondosas productoras de madera de calidad (roble, arce, fresno, cerezo, peral, castaño, serbal, mostajo) bien conformadas, sin defectos aparentes y con un diámetro normal de, al menos, 15 cm, si bien se consideraron puntualmente algunos árboles inventariables de dimensiones inferiores. La previsión futura es mantener estos árboles en pie, con un alto vigor y tasa de crecimiento, hasta que alcancen su turno tecnológico.

- ecológico y de conservación de la biodiversidad: especies poco representadas (en general o en el rodal), árboles con dendro-microhábitats de interés (Bütler *et al*, 2020) o productores de fruto de interés para la fauna. No está previsto el aprovechamiento de estos árboles en el futuro, sino que se plantea su mantenimiento en pie de forma indefinida.

La distancia mínima entre dos AAI ha sido de 7 - 8 m, y se ha evitado seleccionar más de 150 AAI/ha. Se ha aplicado una clara selectiva en favor de estos árboles, eliminando entre uno y tres competidores por AAI, en función de la estabilidad y estado de desarrollo de éste. En el caso de los AAI seleccionados para la producción de madera de calidad se presta especial atención a mantener los árboles cercanos que no sean competidores a nivel de copa, ya que estos pies tienen interés para “educar” al AAI, sombrear su tronco y evitar la aparición de brotes epicórmicos, especialmente en roble. También se ha valorado la aplicación de podas puntuales para incrementar la altura del fuste.

Cuando los AAI aparecían en forma de cepas con varios resalvos, se realizó un resalveo, promoviendo el mejor conformado. Por último, cuando se detectó la presencia de pies de frondosas productoras de madera de calidad de manera dispersa, con pequeño diámetro y mala conformación, se procedió a su recepado, con la intención de inducir un rebrote vigoroso y bien conformado

3.3. Cuantificación y caracterización de los AAI

La cuantificación y caracterización de los AAI se ha hecho siguiendo dos metodologías por separado:

a) Inventario pericial de caracterización general de los 39 rodales: estimación semi-cuantitativa de la densidad (<10, 10-25; 26-100 o >100 pies/ha) de pies de especies con potencial para producción de madera de calidad (*Acer campestre*, *A. opalus*, *A. pseudoplatanus*, *Fraxinus angustifolia*, *F. excelsior*, *Prunus avium*, *Pyrus sp.*, *Quercus canariensis*, *Q. petraea/robur*, *Q. pubescens*, *Sorbus domestica*, *S. torminalis*) a escala de rodal, en base a un recorrido por éste. Además de la cuantificación total se indican las especies observadas y el porcentaje de pies bien conformados (rectos, derechos, con un eje único y sin ramas gruesas en, al menos, 3 m de tronco). Este inventario se realizó antes de las intervenciones.

b) Inventario por parcelas permanentes: identificación de hasta 10 AAI situados dentro de (o en el entorno de) 70 parcelas permanentes de inventario, con un radio predominante de 13-15 m. Estos AAI (481 en total) han sido seleccionados por su interés económico o ecológico, caracterizándose

individualmente, así como su entorno competitivo (Tabla 1), en un total de 55 parcelas. Este inventario se realiza dos veces: antes de las intervenciones y en otoño de 2020, dos o tres períodos vegetativos después de éstas.

Tabla 1. Variables de caracterización de los Árboles de Alto Interés en las parcelas permanentes de inventario

Tipo de variable	Variables medidas
Variables generales de rodal y parcela de inventario	Código de rodal, parcela de inventario, fecha, equipo
Ubicación	Coordenadas XY del árbol; código del árbol
Características generales	Especie, diámetro normal (árboles de altura > 2 m) o basal (árboles de altura < 2 m), altura total, altura de la primera rama viva
Diámetro copa ¹	En dos direcciones perpendiculares: máxima pendiente y curva de nivel
Origen ²	Semilla, rebrote de cepa, rebrote de raíz, incierto
Características de calidad, troza por troza, para un máximo de 3 trozas	Longitud, diámetro máximo de ramas, curvatura ($\leq 2\%$; 3-10%; >10%); nudos ($\emptyset_{\text{total}} < 3$ cm; $\emptyset_{\text{max}} < 3$ cm y $\emptyset_{\text{total}} < 10$ cm; $\emptyset_{\text{max}} > 3$ cm o $\emptyset_{\text{total}} > 10$ cm); otros defectos (daños por fauna, inclinado, revirado, brotes epicórmicos)
Otras características	Estrato social (aislado, dominante, codominante, dominado); copa (vigorosa y densa; poco vigorosa o poco densa); $\emptyset_{\text{max}}$ ramas secas, altura de inserción de la rama más baja con $\emptyset > 4$ cm
Entorno competitivo general ³	Área basimétrica (BAF4) medida a 30 cm del tronco, al norte y al este
Caracterización de competidores ⁴	En un máximo de tres pies competidores por AAI: especie, diámetro normal, distancia entre troncos y distancia entre copas

¹ esta variable y las siguientes no se miden en AAI recepados; ² esta variable y las siguientes no se miden en AAI de interés ecológico; ³ esta variable y las siguientes no se miden en AAI resalveados; ⁴ se consideran pies competidores aquellos cercanos al AAI cuya cima alcanza, al menos, la mitad de la altura de copa de éste

3.4. Preparación y aplicación piloto del Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor

El objetivo de esta herramienta es facilitar la evaluación de la calidad de la madera en pie y los posibles destinos industriales de las principales especies de frondosas de alto valor, especialmente, roble, fresno, arce, cerezo y castaño, si bien es aplicable a otras especies (serbal, mostajo, peral, nogal, etc.). Esta herramienta permite evaluar rápidamente el potencial de un árbol en diferentes fases vitales para generar madera de calidad. Este protocolo ha sido elaborado durante 2018-19, con contribuciones por parte de 25 personas expertas en gestión forestal y tecnología de la madera, y con varias fases de evaluación sobre el terreno en diversas tipologías de bosque. La edición final ha sido realizada en castellano, catalán e inglés. El protocolo tiene la siguiente estructura:

- Módulo 1: Evaluación en pie del potencial de producción de madera de calidad en árboles pequeños e intermedios (CD10 - CD25/30): permite detectar pies con potencial para llegar a generar productos de alto valor añadido, para su promoción mediante podas, resalveos y/o claras selectivas, en función de su estado de desarrollo.

- Módulo 2: Evaluación en pie de la calidad de la madera en árboles intermedios y grandes (CD25+): permite estimar la calidad de la madera de un árbol y valorar si es necesario aplicar alguna intervención selvícola, por ejemplo, clara selectiva, poda o resalveo, o si es conveniente realizar su aprovechamiento. La clasificación de un pie se expresa como la longitud en metros de las trozas que pueden ser destinadas a las diferentes calidades (A, B, C) para cada pie. Por ejemplo: un pie que pueda generar una troza de 3 m de longitud de calidad A y otra de 4 m de longitud de calidad B se describiría con el código "3A4B". Las categorías de calidad A, B, C se han establecido buscando su

correspondencia con las normas de calidad de madera en rollo de frondosas (UNE-EN 1316-1: 2012 Parte 1: Roble y haya; UNE-EN 1316-3: 1998. Parte 3: Fresno y Arce), de los métodos de medida de singularidades y alteraciones biológicas de la madera aserrada y en rollo (UNE-EN 1309-3: 2018 parte 3) y de la clasificación visual de la madera aserrada de frondosas para uso estructural (UNE 56546:2013). Estas calidades se corresponderían, en términos generales, con su destino industrial prevalente: A: calidad excepcional (chapa, ebanistería de lujo o botería de alta calidad); B: sierra especial y primera (ebanistería, botería, viguería, tornería); C: sierra segunda e intermedia (pequeño mobiliario, carpintería, parquet o viguería).

- Anexo 1: Ejemplo de fichas de campo para la evaluación a nivel de rodal: propuestas de modelos de ficha para evaluar la calidad actual y potencial agregada de un rodal.

- Anexo 2: Requisitos de calidad a nivel de especie y para la madera en rollo: requerimientos de calidad específicos para roble, fresno, arce, cerezo y castaño, que permiten hacer una evaluación más detallada de estas especies.

- Anexo 3: Identificación de las principales especies de frondosas de alto valor: fichas ilustradas para facilitar la identificación de las especies objeto de este protocolo en diferentes épocas del año y estados de desarrollo.

Este protocolo ha sido aplicado en el inventario final (otoño 2020), en 59 AAI inventariables seleccionados para producir madera de calidad que no fueron recepados ni resalveados. Debido a las dimensiones predominantemente reducidas de los AAI en los rodales demostrativos, en esta primera aplicación del protocolo se ha considerado de forma flexible el criterio del diámetro normal mínimo para la asignación a cada categoría de calidad, con el fin de disponer de un número mayor de pies clasificados.

4. Resultados

4.1. Densidad y características de los pies con potencial para producir madera de calidad del inventario pericial

Los rodales del proyecto han mostrado una presencia notable de especies con interés para la producción de madera de calidad y, por tanto, para el planteamiento de una SOAI. El 64% de los rodales (66% de la superficie intervenida) presentaba una densidad superior a 100 pies/ha de estas especies, mientras que el 21% de ellos (15% de la superficie) presentaba entre 26 y 100 pies/ha de estas especies. Solo el 9% de los rodales (13% superficie) presentaba menos de 10 pies/ha de estas especies. Los robledales y los castañares son las formaciones con mayor presencia de estas especies.

Las especies más frecuentes son *Prunus avium* (76% de los rodales, sobre todo en encinar y castañar) y *Quercus canariensis*, *Q. robur/petraea* y *Sorbus domestica*; cada uno de ellos ha aparecido en el 42% de los rodales. La calidad predominante de estos pies es deficiente, y solo en uno de cada cuatro rodales hay un 25% o más de pies de estas especies caracterizados como “bien conformados”.

4.2. Densidad y características de los AAI en las parcelas de inventario forestal

En total, se han identificado 481 AAI en el estudio (Tabla 2), con una media de 160 ± 96 AAI/ha en el conjunto de parcelas de inventario, con los valores más altos en castañares (200 ± 138 AAI/ha) y los más bajos en pinares (108 ± 64 AAI/ha). De estos pies, 372 (78%) han sido seleccionados por su interés para producción de madera de calidad (Figura 3), de los cuales 119 fueron recepados y 22

resalveados, mientras que en los 231 restantes no fue necesario realizar estas intervenciones. Los 109 AAI restantes fueron seleccionados por su interés para la biodiversidad (Figura 4).

Tabla 2. Número de AAI por especie y criterio de selección. Entre paréntesis se indica su diámetro normal medio, en cm.

Especie	AAI para madera de calidad			AAI para biodiversidad	Total
	No recepados ni resalveados	Recepados	Resalveados		
<i>Acer campestre</i>	7 (12,3)	3	4 (10,3)	8 (14,8)	22
<i>A. monspessulanum</i>	2 (9,6)	1	0	1 (10,1)	4
<i>A. opalus</i>	40 (17,0)	0	4 (13,8)	8 (21,6)	52
<i>Castanea sativa</i>	3 (18,9)	0	0	0	3
<i>Fraxinus excelsior</i>	18 (9,0)	8	4 (3,1)	12 (5,4)	42
<i>Prunus avium</i>	35 (17,1)	83	1 (24,2)	51 (18,1)	170
<i>Pinus sylvestris</i>	5 (31,7)	0	0	0	5
<i>Pyrus communis</i>	0	1	0	0	1
<i>Quercus canariensis</i>	35 (21,8)	18	2 (26,1)	8 (25,0)	63
<i>Q. petraea</i>	10 (26,0)	0	1 (23,1)	0	11
<i>Q. pubescens</i>	45 (24,1)	4	2 (12,8)	14 (21,6)	65
<i>Q. robur</i>	8 (30,9)	0	1 (33,1)	0	9
<i>Sorbus domestica</i>	3 (9,5)	1	0	2 (14,1)	6
<i>S. torminalis</i>	20 (8,8)	0	3 (6,4)	3 (11,6)	26
<i>Tilia cordata</i>	0	0	0	2 (18,8)	2
Total (n)	231	119	22	109	481
Total (%)	48%	25%	5%	22%	100%



Figura 3. Roble de alto interés para la producción de madera de calidad.



Figura 4. Encina de alto interés para la biodiversidad, por presentar un microhábitat.

Salvo *Tilia cordata*, las especies han sido seleccionadas principalmente para producción de madera de calidad. De éstas, destacan por su buena conformación y dimensiones (pocos pies recepados o resalveados) *Q. petraea*, *Q. robur*, *A. opalus* y *S. torminalis*, mientras que otras especies como *P. avium*, *A. campestre* o *F. excelsior* muestran un predominio de AAI que han debido ser recepados o resalveados. En cuanto a las especies con más proporción de AAI seleccionados por su interés para la biodiversidad, destacan *T. cordata*, *A. campestre* y *S. domestica*.

No se observa una tendencia clara en cuanto a las dimensiones de los AAI seleccionados para producción de madera (excluyendo los recepados y resalveados) o para biodiversidad, con unos valores medios de diámetro normal de 18,2 y 17,6 cm, respectivamente. Los pies de mayores dimensiones corresponden a *Q. robur* y *P. sylvestris* seleccionados para madera de calidad, mientras que entre los AAI seleccionados por su interés para la biodiversidad los de mayores dimensiones son *Q. canariensis* y *A. opalus*.

4.3. Caracterización y efecto de la selvicultura aplicada sobre los AAI

Los principales competidores cortados en la liberación de AAI seleccionados para la producción de madera de calidad son la especie principal de cada formación (encina, castaño, roble, pino), destacando también *A. opalus* en robledales y pinares, *P. avium* en castañares y *Q. ilex* y *Q. pubescens* en pinares (Figura 5).

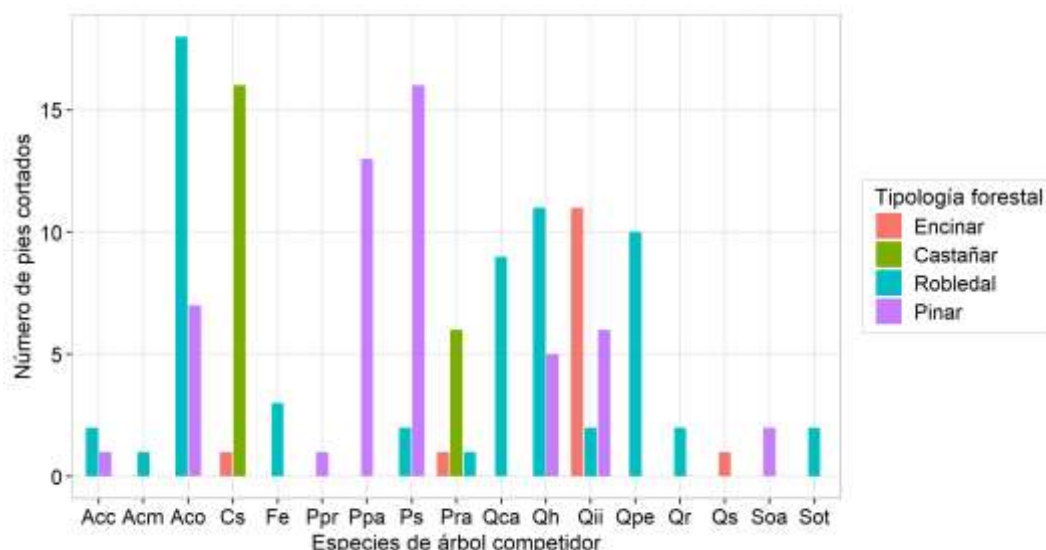


Figura 5. Número total de pies competidores cortados, por especie y formación forestal, para liberar AAI para madera de calidad (55 parcelas de inventario). Abreviatura de especies, por orden: *Acer campestre*, *A. monspessulanum*, *A. opalus*, *Castanea sativa*, *Fraxinus excelsior*, *P. pinaster*, *Pinus pinea*, *P. sylvestris*, *Prunus avium*, *Quercus canariensis*, *Q. pubescens*, *Q. ilex ilex*, *Q. petraea*, *Q. robur*, *Q. suber*, *Sorbus aucuparia*, *S. torminalis*.

Se observa una cierta relación ($R^2 = 0,22$) entre el diámetro normal de los AAI liberados y el de sus competidores cortados (Figura 6).

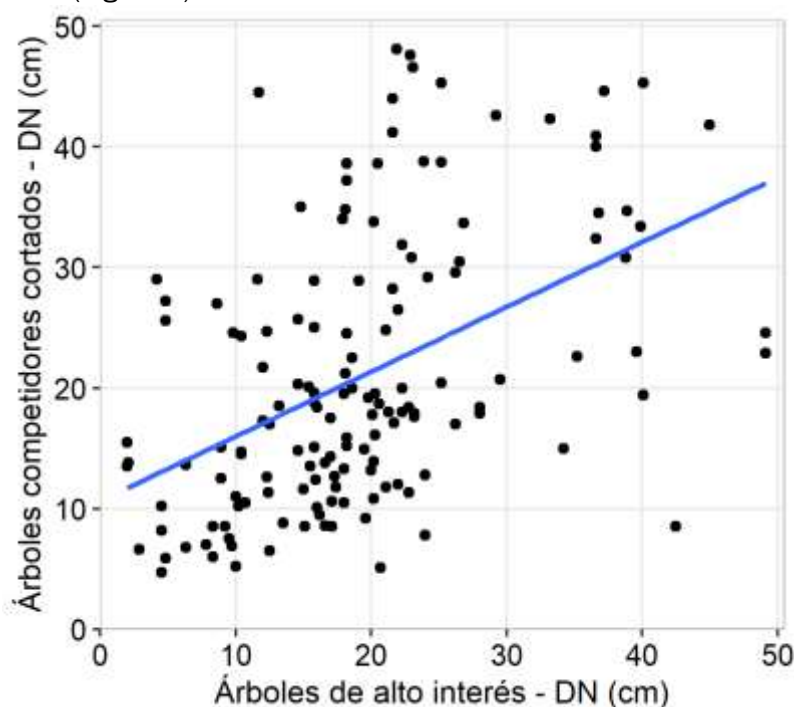


Figura 6. Relación entre el diámetro normal de los AAI promovidos por su interés para la producción de madera de calidad y el de los competidores cortados para liberarlos.

En cuanto al efecto de las claras selectivas, el crecimiento medio anual en diámetro de 280 AAI liberados, que no incluyen los recepados ni los resalveados, es de $3,9 \pm 3,8$ mm/año. A nivel de especie (Figura 7), las que muestran una mayor tasa de crecimiento son *P. sylvestris* ($5,0 \pm 3,1$), *A. opalus* ($4,5 \pm 2,6$), *Q. pubescens* ($4,4 \pm 3,5$), *Q. canariensis* ($4,4 \pm 5,2$), *P. avium* ($4,2 \pm 4,5$) y *S.*

domestica ($4,2\pm3,0$). Las especies con una tasa de crecimiento más baja, es decir con una reacción menos vigorosa tras la clara, son *S. torminalis* ($1,3\pm1,2$), *F. excelsior* ($2,6\pm3,2$), *T. cordata* ($2,8\pm1,8$), *A. monspessulanum* ($2,8\pm2,5$) y *Q. robur* ($3,0\pm2,0$). No se ha observado una relación entre la tasa de crecimiento anual y el diámetro inicial, ni con el criterio de selección del AAI (madera de calidad o biodiversidad; información no mostrada).

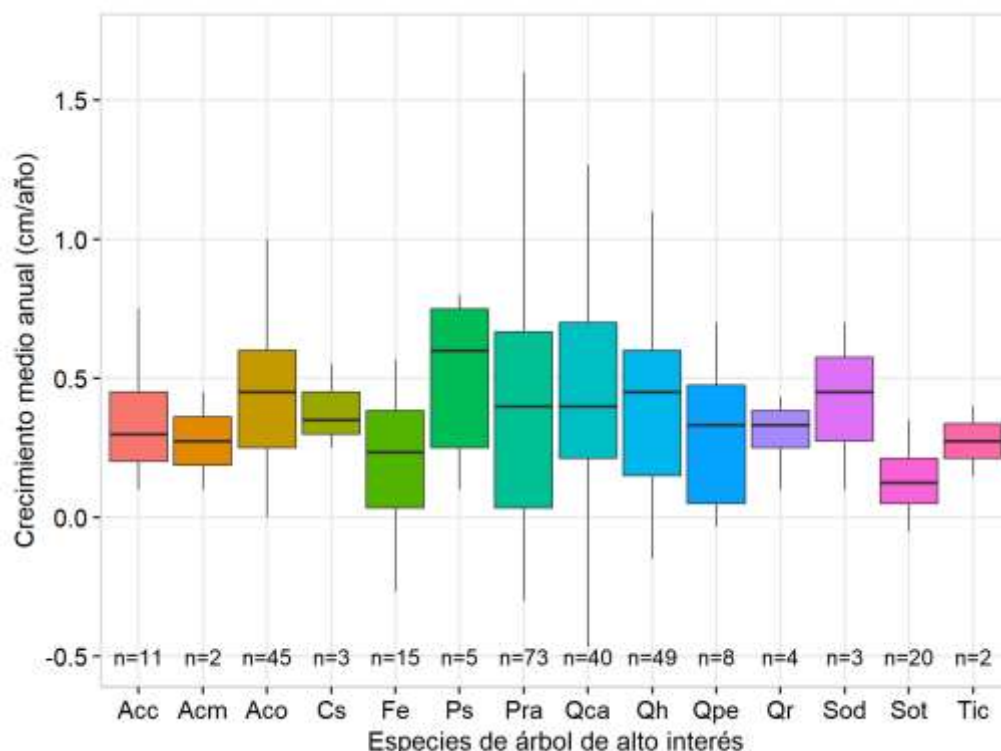


Figura 7. Distribución del crecimiento medio anual (cm/año) tras la liberación de los AAI de diferentes especies. Abreviatura de especies, por orden: Acer campestre, A. monspessulanum, A. opalus, Castanea sativa, Fraxinus excelsior, Pinus sylvestris, Prunus avium, Quercus canariensis, Q. pubescens, Q. petraea, Q. robur, Sorbus domestica, S. torminalis, Tilia cordata.

4.4. Resultados y evaluación de la aplicación del Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pies de planifolios de alto valor

La aplicación del protocolo de evaluación de la madera en pie (Coello et al, 2020) en 59 AAI seleccionados para madera de calidad en el inventario final ha mostrado que la calidad predominante de la primera troza es C (sierra segunda o intermedia; Tabla 3). Tan solo 6 pies han tenido una troza clasificada como B (sierra especial y primera), mientras que 8 pies no han llegado a los requisitos de calidad C. El principal factor que ha definido la calidad de la primera troza ha sido su diámetro. Además, en 17 árboles se ha evaluado la calidad de la segunda troza siguiendo la misma metodología, 14 de las cuales fueron clasificadas como C y el resto como D (datos no mostrados).

Tabla 3. Número de AAI seleccionados por para producción de madera de calidad (entre paréntesis, diámetro normal medio) cuya primera troza pertenece a cada categoría de clasificación en pie según el protocolo de Coello et al (2020), según la evaluación realizada en el inventario final del proyecto (otoño 2020).

Categoría de calidad	A	B	C	D	Total
<i>Acer campestre</i>	0	0	1 (17,7)	0	1 (17,7)
<i>Fraxinus excelsior</i>	0	0	1 (23,3)	0	1 (23,3)
<i>Prunus avium</i>	0	0	15 (23,2)	5 (19,3)	20 (22,2)
<i>Quercus canariensis</i>	0	2 (40,8)	15 (25,5)	1 (40,8)	18 (28,0)
<i>Q. petraea</i>	0	0	5 (34,3)	1 (26,4)	6 (33,0)

<i>Q. pubescens</i>	0	1 (40,0)	4 (21,2)	1 (19,2)	6 (24,0)
<i>Q. robur</i>	0	3 (37,7)	3 (31,8)	0	6 (34,8)
<i>Sorbus torminalis</i>	0	0	1 (21,1)	0	1 (21,1)
Total	0	6 (39,1)	45 (25,4)	8 (22,9)	59 (26,5)

La aplicación práctica de este protocolo en el inventario mencionado, y en pruebas previas realizadas, da lugar a las siguientes observaciones:

- La evaluación de un árbol requiere la observación completa de éste (360°) para detectar posibles defectos.

- La evaluación de los primeros árboles en los que se aplica el protocolo es relativamente lenta (2 - 5 minutos/árbol), hasta que se interiorizan los criterios clave, especialmente para aquellas especies para las que se proponen ajustes específicos (roble, fresno, arce, cerezo y castaño). Una vez interiorizados los criterios, el tiempo medio de evaluación de un árbol varía entre 0,5 y 1 minuto por árbol, en función de sus dimensiones y de la transitabilidad.

- El número de árboles que hay que caracterizar para interiorizar los criterios del protocolo es de aproximadamente 8 - 12. Además, en el caso de las especies con ajustes específicos (roble, fresno, arce, cerezo y castaño) se requiere aplicar el protocolo en unos 3 - 5 ejemplares adicionales por especie.

5. Discusión

5.1. Valoración de una primera aplicación de la Selvicultura Orientada al Árbol Individual (SOAI)

La intervención selvícola descrita corresponde a una primera aplicación de SOAI en masas forestales que habían estado gestionadas previamente por métodos convencionales (tratamientos poco selectivos y de alta intensidad), a menudo sin intervenciones en las últimas décadas. Considerando estos factores, junto con el estado de desarrollo de las masas (diámetros predominantes intermedios y pequeños) y las características del tratamiento (intensidad baja o moderada; área basimétrica extraída: 25 - 33%) no era esperable identificar y promover un elevado número de Árboles de Alto Interés (AAI) de grandes dimensiones, sino que se puede considerar esta primera intervención como una transición hacia un nuevo modelo de gestión.

5.2. Densidad y características de los AAI en los rodales MixForChange

En las 197 ha de rodales demostrativos se ha detectado una presencia notable de AAI para la producción de madera de calidad (frondosas de alto valor) o bien según criterios de conservación de la biodiversidad (especies poco frecuentes, frutales forestales, pies con dendro-microhábitats de interés). Las especies más frecuentemente identificadas como AAI han sido cerezo, roble (*Q. canariensis* y *Q. pubescens*), fresno, arce (*A. opalus* y *A. campestre*) y mostajo. La presencia destacada de estas especies es típica en las condiciones sub-húmedas mediterráneas, habiéndose encontrado una presencia especialmente abundante en masas dominadas por castaño en las que éste ha ido perdiendo interés económico en los últimos tiempos (en línea con Vericat *et al*, 2012a), así como en los robledales más capitalizados.

La densidad media de AAI en las parcelas de inventario se ha estimado en 160 pies/ha. Esta cifra debe considerarse como una aproximación, debido a la fuerte variabilidad entre parcelas, rodales y formaciones, y también por la metodología seguida para su cálculo: por un lado, las parcelas de inventario se ubicaron preferentemente en zonas de la masa en las que la aplicación de SOAI

fuera más relevante, por lo que se priorizaron zonas con mayor presencia de posibles AAI. Además, la densidad de AAI en cada parcela se ha estimado en base a su superficie (frecuentemente, 13-15 m de radio), pero en algunas parcelas se han incorporado AAI seleccionados en el entorno de éstas, y en otras se limitó a caracterizar los 10 AAI más cercanos a su centro, aunque hubiera un número más alto de estos individuos dentro de la parcela.

El 78% de los 481 AAI seleccionados lo han sido por su interés para producir madera de calidad. Sin embargo, en la mayoría de los casos este interés es más potencial que actual, debido a las dimensiones aún reducidas de la mayoría de los árboles (tan solo 10 AAI seleccionados para madera de calidad – el 2,6% – tiene un diámetro normal superior a 40 cm) y a la ausencia de una selvicultura previa que tuviera en cuenta la promoción de estos pies. Se espera que la aplicación reiterada de esta selvicultura permita que los AAI para madera de calidad que actualmente presenten unas dimensiones pequeñas e intermedias alcancen en el futuro unas características de calidad superior a las de los pies actuales de mayores dimensiones, en los que no se han aplicado intervenciones para su promoción progresiva. El 22% restante de los AAI fue seleccionado por su interés para la conservación de la biodiversidad. Al igual que en el caso anterior, tan solo 7 de estos árboles (6,4%) presentan un diámetro normal superior a 40 cm.

La tasa de crecimiento de 280 AAI liberados da un valor medio de 3,9 mm/año, en un rango de 1,3 a 5,0 mm/año según la especie. En el caso de las especies más habituales en bosques del área de trabajo, la tasa obtenida es inferior a la de los modelos selvícolas de referencia en rodales de buena calidad de estación gestionados activamente, cuyos valores oscilan entre 5 - 6 mm/año para *Quercus pubescens* (Vericat *et al*, 2012b) y 8 - 10 mm/año para *Pinus sylvestris* (Piqué *et al*, 2011) o *Castanea sativa* (Beltrán *et al*, 2013). Es probable que los AAI liberados estén respondiendo aún de manera incipiente a la actuación, tras 2 o 3 períodos vegetativos. Por ejemplo, la respuesta en crecimiento diametral individual de *P. sylvestris* a una clara se suele empezar a manifestar dos años después de ésta, alcanzando el máximo a los 5 años (Montero *et al*, 2008). Además, la liberación realizada ha sido de baja intensidad, buscando hacer una puesta en luz progresiva que permita a estos árboles estabilizarse tras un período prolongado de fuerte compresión lateral.

5.3. Valoración del Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pies de planifolios de alto valor

Este Protocolo (Coello *et al*, 2020) ha mostrado ser una herramienta de fácil aplicación para caracterizar el potencial de frondosas para producción de madera de calidad, siendo aplicable a escala individual y también de rodal. Sin embargo, está pendiente la evaluación de su rendimiento de aplicación a mayor escala y/o con árboles de mayores dimensiones. Otros factores pendientes de estudio son la correlación entre los resultados de clasificación que proporciona esta herramienta con la evaluación en industria, y también la incorporación de criterios específicos para la clasificación de especies adicionales.

6. Conclusiones

- La selvicultura orientada al árbol individual está alineada con la gestión forestal adaptativa y naturalística y permite identificar y promover árboles de alto interés (actual o potencial) desde el punto de vista comercial o de conservación de la biodiversidad. La aplicación de esta selvicultura implica una serie de cambios respecto a los modelos de gestión convencionales, especialmente, en forma de intervenciones más frecuentes y detalladas, donde es esencial realizar la identificación de los árboles de alto interés y de sus principales competidores. Es por ello necesario incidir en la capacitación del personal encargado de llevar sobre el terreno esta selvicultura y desarrollar herramientas técnicas para facilitar su aplicación. En este sentido, se ha presentado el “Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor”, una herramienta

para facilitar la identificación y caracterización de árboles de alto interés para producir madera de calidad.

- El seguimiento de la primera aplicación de una selvicultura orientada al árbol individual ha permitido hacer una cuantificación, caracterización y fomento de los árboles de alto interés, si bien los resultados de este planteamiento de gestión solo podrán ser evaluados convenientemente después de varias intervenciones con los mismos criterios. En las masas del estudio (197 ha de encinar, castañar, robledal y pinar del mediterráneo sub-húmedo catalán) se ha detectado una notable presencia de árboles con potencial para aplicar una selvicultura orientada al árbol individual (160 pies/ha de media). Sin embargo, la falta de una selvicultura previa en favor de estos individuos y la escasez de pies de gran diámetro dan lugar a resultados aún preliminares en cuanto al potencial de la selvicultura orientada al árbol individual para mejorar los resultados económicos y ambientales de la gestión.

- Se espera que la aplicación reiterada de SOAI en estos rodales sea cada vez más eficiente desde un triple punto de vista:

- logística del señalamiento: la identificación y promoción de AAI se simplificará a medida que éstos vayan destacando progresivamente en la masa;
- resultados económicos: a medida que los AAI seleccionados para producir madera de calidad vayan alcanzando su turno tecnológico se espera que generen ingresos relevantes;
- resultados a nivel ecológico: dimensiones crecientes de AAI seleccionados por su interés para la biodiversidad y expansión de especies poco representadas.

7. Agradecimientos

El proyecto LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) está financiado por el programa LIFE de la Unión Europea. Agradecemos la colaboración de las personas implicadas en la toma y gestión de datos de campo por parte del CTFC, CPF, APMC, APFSBE y Diputación de Barcelona. También estamos agradecidos a las personas que han colaborado en la elaboración del Protocolo de clasificación visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor, citadas explícitamente en dicha publicación.

8. Bibliografía

ABETZ, P.; 1993. L'arbre d'avenir et son traitement sylvicole en Allemagne. *Revue Forestière Française* 45 (5) 551 - 560

BARCENILLA, C.; GARCÍA, M.D.; GARITACELAYA, J.; GARROTE, J.; DEL VALLE, J.; 2005. El papel de la selvicultura próxima a la naturaleza en la problemática actual de la gestión forestal. Actas del Cuarto Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales

BELTRÁN, M.; CANO, F.; GARITACELAYA, J.; PIQUÉ, M.; 2020. Manual de gestión naturalística de los bosques de coníferas de Pirineos. 112 p. Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña. Solsona (Lleida)

BELTRÁN, M.; VERICAT, P.; PIQUÉ, M.; CERVERA, T.; 2013. Models de gestió per als boscos de castanyer (*Castanea sativa* Mill.): producció de fusta i fruit. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). 43 p. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

BÜTLER, R.; LACHAT, T.; KRUMM, F.; KRAUS, D.; LARRIEU, L.; 2020. Dendro-Microhàbitats. Guia de camp. Descripció, identificació i classificació per a su inventari. 59 p. Institut Federal Suïz de Investigació en el àmbit Forestal, de la Nieve i del Paisaje (WSL). Birmensdorf

COELLO, J.; GARCIA, Q.; BAIGES, T.; 2020. Protocolo de clasificació visual de la calidad de la madera en pie de planifolios de alto valor. 23 p. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

GARCÍA, C.; CALAMA, R.; 2013. La Selvicultura próxima a la naturaleza como estrategia adaptativa al cambio climático. Actas del Sexto Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales

GONZÁLEZ, J.M.; PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; 2011. Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de los espacios forestales. 207 p. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.

MONTERO, G.; DEL RÍO, M.; ROIG, S.; ROJO, A.; 2008. Selvicultura de *Pinus sylvestris* L. En: SERRADA, R.; MONTERO, G.; REQUE, J.A. (eds.). Compendio de selvicultura aplicada en España. 503 - 534. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid

MORI, P.; PELLERI, F.; 2014. Selvicoltura per le specie arboree sporadiche: Manuale tecnico per la selvicoltura d'albero. 144 p. Compagnia delle Foreste, Arezzo

PELLERI, F.; SANSONE, D.; BIANCHETTO, E.; BIDINI, C.; SICHI, A.; 2013. Tree-oriented silviculture in European beech high forests. Silvicultural practices aimed both at enhancing sporadic species and at managing the dominant species. *Sherwood* 190 1 - 4

PIQUÉ, M.; BELTRÁN, M.; VERICAT, P.; CERVERA, T.; FARRIOL, R.; BAIGES, T.; 2011. Models de gestió per als boscos de pi roig (*Pinus sylvestris* L.): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie: Orientacions de Gestió Forestal Sostenible per a Catalunya (ORGEST). 186 p. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

ROCKWELL, C.A., KAINER, K.A., STAUDHAMMER, C.L., BARALOTO, C.; 2007. Future crop tree damage in a certified community forest in southwestern Amazonia. *Forest ecol manag* 242 108 - 118

SABÍN, P.; ZURITA, M.; TRASSIERRA, A.; RODRIGUEZ-NORIEGA, P.; 2013. Redacción de proyectos de ordenación bajo criterios de selvicultura próxima a la naturaleza. Actas del Sexto Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales

SPIECKER, H.; 2003. Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe temperate zone. *J Environ Manage* 67 55 - 65

VERICAT, P.; NAVARRO, P.; CORREAL, E.; CASTAÑO, C.; PIQUÉ, M.; BELTRÁN, M.; OBÓN, B.; RODRÍGUEZ, J.; COLINAS, C.; GARCÍA, M.; ARGEMÍ, J.; ROVIRA, J.; 2012a. El castanyer a

Catalunya. Manual de gestió, conservació i valorització. 143 p. Diputació de Barcelona y Obra Social "La Caixa". Barcelona

VERICAT, P.; PIQUÉ, M.; BELTRÁN, M.; CERVERA, T.; 2012b. Models de gestió per als boscos de roure de fulla petita (*Quercus faginea*) i roure martinenc (*Quercus humilis*): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). 181 p. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

VILLEGAS, Z.; PEÑA-CLAROS, M.; MOSTACEDO, B.; ALARCÓN A.; LICONA, J.C.; LEAÑO, C.; PARIONA, W.; CHOQUE, U.; 2009. Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. *Forest ecol manag* 258(6) 971 - 977

WILHELM, G.J.; 2003. Qualification-grossissement: la stratégie sylvicole de Rhénanie-Palatinat. *Rendez-vous techniques* 14 - 9

WILHELM, G.J.; RIEGER, H.; 2013. Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD-Strategie. Eine Strategie für den qualitätsgeleiteten und schonenden Gebrauch des Waldes unter Achtung der gesamten Lebewelt. 208 p. Ulmer KG. Stuttgart.



Anexo 10. Artículo “Desarrollo de un sistema piloto de logística y comercialización de productos forestales de los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos”



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

Desarrollo de un sistema piloto de logística y comercialización de productos forestales de los bosques mixtos submediterráneos subhúmedos

GUITART XARPELL, L.¹, PAGÈS CASTELLÀ, J.² y SOLANES MASBERENGUER, X.³

¹ Associació de Propietaris Forestals del Montnegre i el Corredor.

² Forest4 SCCL.

³ Agrupació Forestal del Montnegre i el Corredor, SL.

Resumen

Los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos (BMMS) alojan una gran diversidad de especies y productos potenciales. Sin embargo, actualmente su rentabilidad económica es baja y la logística de la gestión forestal compleja. En este contexto, la creación de un sistema logístico que tenga en cuenta estas potencialidades y permita realizar una toma de decisiones ágil, puede contribuir en la mejora de la rentabilidad económica y la sostenibilidad ambiental de estos bosques. Este trabajo, desarrollado en el marco del proyecto LIFE MixForChange, analiza el proceso logístico de los tratamientos selvícolas innovadores aplicables en los BMMS del macizo del Montnegre-Corredor (Barcelona); identifica los condicionantes logísticos, económicos, temporales y ecológicos involucrados; y desarrolla una herramienta espacial piloto (GIS) para la toma de decisiones, cuya metodología de creación puede ser replicable a otros macizos. La información espacial generada por esta herramienta se centra en: tratamientos selvícolas potenciales; tipología y cuantificación de productos; sistemas de desembosque y transporte apropiados; necesidad de puntos de acopio; y destinos idóneos. Asimismo, analiza el balance económico de las actuaciones. De esta manera, la herramienta permite detectar rápidamente los recursos económicos y logísticos necesarios para el desarrollo de cada tratamiento selvícola, facilitando la logística y mejorando la eficiencia.

Palabras clave

Toma de decisiones, diversificación de productos, herramienta GIS.

1. Introducción

Los bosques mixtos mediterráneos subhúmedos (BMMS) son un ecosistema que, debido a las condiciones climáticas en las que se encuentran, permiten albergar una gran variedad de especies potenciales. No obstante, muchos de estos bosques actualmente presentan una situación de alta densidad, simplificación estructural y baja vitalidad que los hace muy vulnerables a las perturbaciones. Asimismo, su rentabilidad actual es baja, ya que la gestión forestal desarrollada las últimas décadas se ha centrado en la obtención de productos de bajo valor añadido, ligado a un mercado caracterizado por los bajos precios. De este modo, la realización de una gestión forestal sostenible a menudo exige una considerable inversión difícil de asumir.

El desarrollo de nuevas técnicas de gestión forestal que permitan un incremento de la complejidad de esas masas y al mismo tiempo una puesta en valor de los productos obtenidos, son decisivas en la mejora de la vitalidad y la adaptación al cambio climático de los BMMS. Al mismo tiempo, para garantizar la efectividad en su implantación, es necesaria una coordinación eficiente del proceso logístico, desde el inicio de las actuaciones forestales hasta la comercialización del producto, mejorando la sostenibilidad económica y ambiental.

No obstante, durante la realización de las actuaciones forestales se ven implicadas distintas fases y actores y conseguir una buena coordinación de todos ellos no es fácil. Actualmente, existen diversos trabajos orientados a la proporción de herramientas para la coordinación, como la realización de planes estratégicos para un producto concreto (CTFC et al., 2009), o valoración del

producto a escala regional (FERNÁNDEZ, 2021). Sin embargo, pocos contemplan las potencialidades de los BMMS en la escala local. De ahí la realización del presente trabajo, el cual, mediante el análisis del sistema logístico en un macizo concreto, pretende proporcionar una herramienta que facilite la coordinación de las actuaciones en BMMS a los gestores locales.

Este trabajo se enmarca en el proyecto LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) (2016-2022) el cual pretende aumentar la capacidad de adaptación de los BMMS al cambio climático a través del desarrollo de nuevas técnicas de gestión forestal, así como el fomento de su bioeconomía. El proyecto se centra en cuatro zonas del noreste de la Península Ibérica donde se encuentran BMMS dominados por: encina (*Quercus ilex subsp ilex*), castaño (*Castanea sativa*), robles (*Quercus pubescens*, *Q. canariensis*, *Q. petraea*), y el pino (*Pinus sylvestris*, *P. pinea*). En una de estas cuatro zonas, el macizo del Montnegre-Corredor, es donde se focaliza el presente trabajo.

2. Objetivos

El principal objetivo del trabajo se centra en el desarrollo de un sistema piloto de logística para los productos madereros del ámbito de la Asociación de Propietarios Forestales del Montnegre y del Corredor (APMC) basado en la generación de una herramienta de sistemas de información geográfica (GIS) que englobe toda la información clave para la toma de decisiones. Asimismo, se pretenden alcanzar los objetivos específicos siguientes:

- i) Elaboración de una metodología replicable a otras asociaciones o macizos.
- ii) Análisis de los resultados alcanzados en el ámbito de la APMC.

3. Metodología

La metodología tiene un fuerte peso en este trabajo ya que en ella se describe la obtención de la herramienta GIS replicable. Los principales pasos a seguir son los siguientes, previo conocimiento del ámbito de estudio:

1. Análisis de las partes del sistema logístico en el ámbito de estudio.
2. Identificación de los condicionantes clave para cada parte y definición de valores umbral.
3. Transferencia de los condicionantes a nivel espacial y generación de la herramienta GIS.

3.1. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio se localiza en el macizo del Montnegre-Corredor, situado en el noreste de la Península Ibérica, en la cordillera litoral catalana (SRC: ETRS89 UTM 31N: 463824, 4610496). Su delimitación sigue el ámbito de actuación de la APMC la cual comprende los 22 municipios afectados por el macizo con una superficie total de 45.323 ha. En la zona se encuentra el Parque del Montnegre y el Corredor (Red Natura 2000 ES5110011, 14.711 ha).

El macizo del Montnegre-Corredor se encuentra en la región mediterránea piso mesomediterráneo subhúmedo. Se caracteriza por temperaturas suaves la mayor parte del año (media anual: 14°C), veranos muy cálidos (> 20 días con > 30°C) y riesgo de heladas en invierno (mínima mensual >-6°C). Las precipitaciones anuales se sitúan entorno los 550-700 mm con mucha variabilidad interanual (SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA, 2017).

A nivel geológico el ámbito de estudio está formado principalmente por rocas intrusivas del Paleozoico (granodioritas y leucogranitos) que tienden a formar suelos silíceos arenosos con baja capacidad de retención de agua y una alta susceptibilidad a la erosión. El rango altitudinal va desde el nivel del mar a los 758 m de altitud donde se sitúa la cordillera central que divide el macizo en dos vertientes, una interior orientada al noroeste y otra costera orientada al sureste. Las pendientes son altas en todo el macizo (>30%) llegando a superar el 60% en las zonas montañosas centrales.

La superficie forestal es abundante (71%) y mayoritariamente arbolada (88%) con la encina (*Quercus ilex subsp ilex*), el alcornoque (*Quercus suber*) y el pino piñonero (*Pinus pinea*) como especies dominantes. Asimismo, en la parte central más elevada y húmeda se extiende el robledal (*Quercus canariensis* y *Quercus petraea*) y castaños (*Castanea sativa*); y en las llanuras aluviales se encuentran plantaciones de chopo (*Populus nigra*) y plátano de sombra (*Platanus x hybrida*). Otras especies presentes son el pino pinastre (*Pinus pinaster*) y el pino radiata (*Pinus radiata*), este último en forma de pequeñas plantaciones. En general, se considera que la mayoría de bosques del macizo son mixtos, con excepción de las plantaciones.

Las dos vertientes principales del macizo, de propiedad eminentemente privada (82,5%), presentan realidades diferenciadas. Mientras que la vertiente interior, más húmeda, dominada por encinares y alcornocales, y propiedades más grandes (25-50 ha) se caracteriza por una mayor tradición y gestión forestal; la vertiente costera, de temperaturas más suaves, se compone de zonas con antiguo legado agrícola ahora ocupadas por pinares de pino piñonero mayoritariamente no gestionados, con propiedades muy fragmentadas (1-5 ha) y próximas a zonas altamente urbanizadas. Las problemáticas de la vertiente costera sumadas a la baja rentabilidad de las actuaciones forestales llevan a una falta de gestión forestal que incrementa la vulnerabilidad de las masas a perturbaciones. Así, además del riesgo de perturbaciones como incendios o sequías, el macizo se enfrenta a un incremento de afectaciones bióticas como el escolítido *Tomicus destruens* en pino piñonero o la cochinilla del pino pinastre (*Matsococcus feytaudii*) que sumados a otros agentes bióticos y abióticos causaron el decaimiento de los pinares con mortalidades en más de 2000 ha entre 2015 y 2017.

3.2. Análisis de las partes del sistema logístico

El primer paso en el desarrollo del sistema logístico piloto es el análisis de sus partes teniendo en cuenta las particularidades del ámbito de estudio. Con el objetivo de simplificar el sistema piloto, el trabajo se centra en los productos madereros y analiza los componentes habituales o de aplicación a corto plazo de cada parte.

El primer aspecto a analizar son los **tratamientos selvícolas**. Según la experiencia de la APMC, los tratamientos selvícolas habitualmente desarrollados son: entresacas; cortas sanitarias derivadas del decaimiento en pinares; claras selectivas; y en menor medida, resalveos (como tratamiento no complementario) y cortas a hecho (concentradas en las plantaciones). Asimismo, el abundante matorral hace indispensable la realización de desbroces selectivos en paralelo a la aplicación de tratamientos arbóreos. Estos tratamientos, se suelen realizar de manera manual, debido a las fuertes pendientes y el abundante matorral de la zona que hacen inviable la mecanización.

En segundo lugar, se analizan los **productos** habitualmente extraídos, con posibilidades de comercialización actual o a corto plazo. Estos productos son: leñas de quercíneas; trituration para la realización de papel o para fines energéticos (distinguiendo entre biomasa de calidad y biomasa industrial (últimos metros del árbol con copa)); sierra de conífera para palet; y sierra de calidad, agrupando la madera destinada a distintos usos de mayor calidad (ej. carpintería, ebanistería). De éstos, las leñas de encina y la biomasa industrial derivada de las cortas sanitarias son los que se extraen con una mayor abundancia; mientras que la madera de calidad, por su poca presencia; y la trituration para papel, debido a la priorización de la biomasa; son los productos menos abundantes.

Otro aspecto a considerar, son los métodos de desembosque y transporte. Por un lado, el **método de desembosque** habitualmente utilizado por la APMC es el tractor forestal con cabrestante, debido a su alta versatilidad y bajo coste, realizando la extracción a pie de pista. No obstante, en los casos de cortas sanitarias intensas con extracción de biomasa industrial se utiliza el autocargador, por su posibilidad de acceso en la zona de corta (APMC, 2015). Por otro lado, el **método de**

transporte más utilizado es el camión 3 ejes, seguido del tractor con remolque y el autocargador para transporte a distancias cortas. El tráiler se utiliza puntualmente.

Aunque habitualmente el acopio de producto se realiza en pequeñas pilas a pie de pista, a menudo es necesario un acopio de mayores cantidades en lugares destinados a esa función. Para ello la APMC hace uso de tres tipos de **puntos de acopio**: a) cargaderos “in situ”, ubicados temporalmente en la zona de actuación y habitualmente utilizados para el almacenamiento de biomasa industrial, facilitando el astillado “in situ”; b) dos plataformas logísticas temporales (1,32 y 0,93 ha) que permiten el uso de tráiler; y c) una plataforma logística permanente de 1,64 ha donde se almacena prolongadamente productos de distintas actuaciones con el objetivo de incrementar su volumen, realizar un primer procesado, facilitar el acceso al transporte o esperar futuras oportunidades de comercialización.

Finalmente, para cerrar el ciclo, se definen los **destinos** de los productos, generalmente industrias, aunque se incluyen las plataformas logísticas. Así, en el ámbito de la APMC se distinguen 15 industrias distribuidas en: 8 de leñas; 3 de trituración; 3 de sierra para palet y 2 de sierra de calidad. Se incluyen también como destino las plataformas temporales, donde se almacena principalmente trituración, y la plataforma permanente donde se almacenan leñas, trituración y sierra de calidad.

3.3. Identificación de condicionantes clave y valores limitantes

Las decisiones a tomar en las partes expuestas en el apartado anterior se ven afectadas por cuatro tipos de condicionantes: a) logísticos: qué elementos considerar y cómo se utilizarán; b) económicos: los costes o beneficios; c) temporales: cuando realizar cada parte y d) ecológicos: que limitan o modifican aspectos de la logística. A continuación, se desglosan las cuestiones implicadas en la toma de decisiones, se identifican los condicionantes principales (representables a nivel espacial) y se establecen valores umbral determinados, en todos los casos, a partir de la experiencia de la APMC.

3.3.1. Condicionantes logísticos

A nivel logístico, la primera cuestión a hacer frente es la **elección del tratamiento selvícola**. Aunque éstos se definen en la planificación forestal vigente para algunas fincas, el presente trabajo pretende obtener una distribución global para todo el ámbito de estudio. Para ello se ha tomado como referencia las directrices del proyecto LIFE MixForChange (CTFC et al., 2018) y los modelos selvícolas utilizados por la APMC (GUITART & ROSELL, 2014), seleccionando los siguientes condicionantes: especie dominante; estado de la masa a partir de área basimétrica (AB, m²/ha) y diámetro medio (Dm, cm); y la afectación por perturbaciones, en ese caso el decaimiento en los pinares; estableciendo los valores limitantes descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de condicionantes para la elección del tratamiento selvícola a aplicar.

Tratamientos selvícolas	Formación forestal (especie dominante)	AB (m ² /ha)	Dm (cm)	Decaimiento
Clara selectiva	castaño, coníferas	>25	--	
Cortas a hecho	plantaciones	--	>35	
Corta sanitaria	pino piñonero, pino pinastre	--	--	Muy afectado
Entresaca	encina, roble, alcornoque, madroño, otros caducifolios	>25	--	
Resalveo	encina, castaño, roble, alcornoque, madroño, eucalipto, otros caducifolios	10-25	<15	
Desbroce selectivo	Al mismo tiempo que las actuaciones sobre arbolado			

Otra cuestión en referencia a los tratamientos selvícolas es la **elección el método de ejecución**. Para ello se debe tener en cuenta: pendientes, características del estrato arbustivo, peso de la corta y productos extraídos. No obstante, en la zona de estudio actualmente sólo es viable la ejecución manual, de manera que no se establecen valores umbral para esta cuestión. Sí debería tenerse en cuenta, en la replicación en otros ámbitos.

Paralelamente al tratamiento, se debe tomar las decisiones sobre la tipología y la cantidad de producto a extraer. La **tipología de productos extraídos**, a nivel de aspectos logísticos, se agrupa de la siguiente manera: trituración (papel y biomasa de calidad), astilla (biomasa industrial), leñas (madroño, roble, encina y alcornoque), sierra para palet (pino carrasco, piñonero, pinastre y radiata) y sierra de calidad (coníferas-chopo-plátano y frondosas). Para su selección, los condicionantes principales implicados son la formación forestal y los tratamientos selvícolas. Así, considerando todos los bosques como mixtos, se establece un porcentaje de tipología de producto a extraer según formación y tratamiento, a partir de la experiencia de la APMC.

La **cuantificación de producto extraído** se realiza a partir umbrales de AB definidos a partir de CTFC et al., 2018, GUITART & ROSELL, 2014 y la experiencia de la APMC (Tabla 2). Con ello, se obtiene un valor de AB extraída la cual se extrapola a volumen con corteza (VCC, m³/ha) a través de la regresión polinómica siguiente: $VCC = 2,874 * AB^{1,1365}$ (R² ajustado: 0,7038), realizada a partir de los valores de las variables biofísicas (CREAF, 2015) en el ámbito de la APMC. Seguidamente, aplicando los porcentajes de tipología de productos anteriores se obtiene el volumen de producto por tipología. Finalmente, conociendo que la mayor parte de productos (excepto la sierra de calidad) se comercializan por peso (€/tn) se aplica la densidad de cada especie en verde para la obtención de la cantidad de producto extraído total y para cada tipología en tn/ha.

Tabla 2. Área basimétrica mínima a mantener y porcentaje de área basimétrica a extraer según el tipo de tratamiento selvícola a aplicar.

Tratamientos selvícolas	AB mín. (m ² /ha)	AB a extraer (%)
Clara selectiva	20	30
Cortas a hecho	--	90
Corta sanitaria	--	50
Entresaca	20	25
Resalveo	--	30

La siguiente cuestión a tener en cuenta es la **elección del método de desembosque**. La accesibilidad es el primer factor a tener en cuenta ya que limita el tipo de desembosque y la posibilidad de ejecución de los tratamientos (RODRÍGUEZ, et al., 2005). A su vez, esta se encuentra condicionada por la distancia de desembosque des de los caminos existentes y la capacidad de movimiento dentro de la zona de actuación según la pendiente (Tabla 3). Con este criterio se establecen los métodos de desembosque posibles, además de zonas consideradas no accesibles, en las que, en caso de necesidad de actuación, será necesario realizar caminos de nueva construcción. Paralelamente, en las zonas de tratamientos intensos (ej, cortas sanitarias i a hecho), con extracción de biomasa industrial y acopio en cargaderos in situ, es preferible la utilización de autocargador, siendo el tractor con cabrestante el desembosque más idóneo para el resto de situaciones.

Tabla 3. Tipo de desembosque según la accesibilidad.

Pendiente zona a actuar (%)	Distancia caminos existentes (m)	Desembosque
>80	--	No accesible
0-80	<50	Tractor/Autocargador
35-80	>50	No accesible
20-35	>50	Autocargador
<20	>50	Tractor (arrastraderos)/Autocargador

Relacionado con la elección anterior, se determina la **elección del método de transporte**, condicionado principalmente por: la accesibilidad, la cantidad-tipo de producto, y la localización de destino. Así, para aquellos destinos localizados a más de 50 km de la actuación y una cantidad de producto muy alta, es preferible el uso de tráiler, siempre que la zona de actuación sea accesible. Si no es accesible, se requiere el uso de un transporte intermedio hasta una plataforma temporal. En una situación contraria de destinos cercanos (<5-10km) el transporte idóneo es el tractor con remolque, especialmente si la cantidad de producto es baja. El autocargador será preferible si, en destinos aún más cercanos (<2 km), se ha utilizado como método de desembosque. Para el resto de las situaciones el mejor método de transporte es el camión 3 ejes, por su adaptabilidad a accesos y versatilidad.

En referencia a los puntos de acopio, es necesario tomar dos tipos de decisiones: la necesidad de su establecimiento y su ubicación. Por un lado, la **necesidad de puntos de acopio** se determina a partir de: la cantidad y tipo de producto, la accesibilidad, la distancia a la industria de destino, y la necesidad de almacenaje y procesamiento de productos. Así, en las zonas de producción de biomasa industrial donde se requiere un astillado “in situ”, es precisa la ubicación de cargaderos “in situ” (CPF, 2016). Si la accesibilidad de la zona no lo permite y la industria se encuentra a más de 35km es necesario el acopio en una plataforma temporal. Finalmente, en caso de necesidad de acopio de mayores volúmenes, productos con salidas comerciales complicadas, realización de un primer procesamiento, o industrias alejadas, es aconsejable el uso de una plataforma permanente. La **selección de la ubicación** viene determinada por los condicionantes de la Tabla 4. La evaluación espacial en el ámbito de estudio se realiza sólo para las plataformas logísticas ya que la ubicación de cargaderos “in situ” depende de la extensión de cada zona particular de actuación.

Tabla 4. Características a tener en cuenta en la ubicación de los puntos de acopio.

Características	Cargadero “in situ”	Plataforma temporal	Plataforma permanente
Superficie (m ²)	<800	800-5.000	>5.000
Accesibilidad	Camión 3 ejes	Camión 3 ejes/Tráiler	Camión 3 ejes/Tráiler
	Vía principal	Carretera	Carretera
Ubicación (distancia a destino)	En la actuación	< 5-10km de la actuación >35 km de industrias existentes	>35 km de industrias existentes
Terreno	Pendiente < 15% Drenaje		

Finalmente, la última cuestión logística es la **elección del destino**. En el presente trabajo, su elección viene determinada principalmente por condicionantes económicos comentados posteriormente. Sin embargo, a la práctica también se debe tener en cuenta condicionantes como la cantidad o calidad del producto, ya que las industrias pueden establecer un volumen de entrada mínimo, anual o máximo y requerimientos estrictos de calidad. No obstante, la difícil generalización y transferencia a nivel espacial de estos condicionantes hace que no se tengan en cuenta en el presente trabajo.

3.3.2. Condicionantes económicos

El presente trabajo contempla los condicionantes económicos derivados del coste de los tratamientos (incluido el desembosque), coste del transporte e ingreso de los productos, realizando previsiones de balance final.

En primer lugar, la cuantificación de **los costes de los tratamientos selvícolas**, se realiza a partir de dos tipos de coste: coste según superficie (€/ha), en el resalveo y desbroce selectivo (DARP, 2020), donde el volumen de producto comercializable es bajo y los rendimientos encuentran afectados por la superficie; y coste según cantidad de producto (€/tn), en el resto de tratamientos, en el que la cantidad de producto extraído tiene un fuerte peso en los rendimientos. Por un lado, los **costes según superficie** dependen de condicionantes distintos según el tratamiento. Así, los costes de resalveo se ven incrementados según la densidad de la masa (<2000, 2000-6000 y >6000 pies/ha) determinando 3 valores de coste. En el caso del desbroce selectivo, los rendimientos empeoran con la cobertura y la altura del estrato arbustivo, y con la pendiente. En la determinación de valores umbrales, las características del estrato arbustivo se aproximan a los datos de los modelos de combustible de superficie de SCOTT & BURGAN, 2005 ajustados a Cataluña (GONALEZ-OLABARRIA et al., 2019) reclasificados como combustible bajo, moderado y alto; y se establece un valor umbral de pendiente del 50%; que combinados determinan 6 costes de desbroce. Por otro lado, los **costes según producto**, además de la cantidad de producto (tn/ha), se ven afectados por la tipología y las características de las especies a extraer estableciendo tres costes (€/tn): a) castaño, coníferas y roble; b) resto de frondosas; c) biomasa industrial ya astillada. Así, el coste final de los tratamientos consta de la suma del coste desbroce selectivo con el resalveo, o bien con el coste de cada uno de los tratamientos condicionados por el producto (previa multiplicación del precio unitario por la cantidad de producto) obteniendo el coste final de cada tratamiento en €/ha.

En segundo lugar, se cuantifican los **costes de transporte** a partir de los rendimientos (€/hora) ya que el tiempo de transporte es, a la vez, el condicionante determinante para la **elección del destino** (más cercano, que minimice costes). Con el objetivo de simplificar el sistema piloto, los valores se determinan para camión 3 ejes, método utilizado en la mayoría de casos. Para ello, primeramente, se han desglosado los rendimientos según los pasos realizados por el transporte, repetidos tantas veces como viajes necesarios para la extracción de la totalidad del producto: trayecto hasta la actuación, carga, trayecto hasta destino y descarga.

Por un lado, el tiempo de trayecto hasta la actuación depende de la distancia entre la ubicación de la empresa de transporte y la zona de actuación; por el otro, el tiempo de carga y descarga depende del tipo de producto, del número de pilas y de la distancia en que se encuentran.

Sin embargo, estos dos rendimientos, se asumen como fijos ya que habitualmente las variaciones suelen ser como máximo de media hora, estableciendo un tiempo total de 2,5h/viaje. Así, los costes variables dependen del número de viajes y de la distancia de la actuación al destino. Por una parte, el número de viajes se encuentra condicionado por el volumen total de producto a extraer (tn/ha) y la cantidad máxima transportable en cada viaje, variable según la tipología de producto (15, 12, 18 y 10 tn/viaje para trituración-astilla, leñas, sierra para palet y sierra de calidad respectivamente). Por otra parte, el tiempo de trayecto de la actuación al destino depende de la distancia y de la velocidad del camión según el tipo de vía. Así, realizando un cálculo coste-distancia para cada uno de los 18 destinos utilizados por la APMC y extrapolando a todo el ámbito de estudio se obtienen las distancias y tiempos a cada uno de los destinos, pudiéndose elegir, para cada tipo de producto, el destino/s en que el tiempo de trayecto es mínimo. Con estos valores se puede calcular el coste de transporte total para cada tipo de producto de la siguiente forma: (tiempo mínimo de trayecto a destino * coste horario * 2 (ida y vuelta) + 2,5 * coste horario) * número de viajes. Sumando los costes de transporte de cada tipo de producto se obtiene el coste de transporte total en €/ha.

En tercer lugar, se cuantifican los ingresos derivados de la venta del producto. El **precio del producto** viene determinado en las tablas de precios de referencia como los de la Llotja de Vic o de Girona (CFC, 2020). Aunque, a la práctica, existen diferencias de precio según destino, la variabilidad del mercado y la necesidad de simplificación del sistema piloto, han motivado a considerar un precio medio común para todos los destinos y variable según la tipología de producto. Multiplicando el precio del producto con la cantidad de cada uno de ellos y sumando la totalidad de productos extraídos en una determinada zona se obtienen los ingresos totales (€/ha).

El balance orientativo se obtiene de la resta de los ingresos menos los costes de tratamientos y transporte, sin tener en cuenta otros costes auxiliares como el mantenimiento de las vías o el seguimiento técnico.

3.3.3. Condicionantes temporales y ecológicos

En la Tabla 5 se muestran los principales condicionantes temporales que limitan la ejecución de actuaciones forestales. Asimismo, en cuanto a condicionantes ecológicos, los criterios particulares de cada zona en concreto se establecen por el organismo competente en el momento de la actuación, siendo difíciles de generalizar para todo el ámbito de estudio. Por lo tanto, los condicionantes temporales y ecológicos se tienen en cuenta de manera auxiliar en el momento de realización de la actuación sin incorporarse a la herramienta GIS.

Tabla 5. Calendario de condicionantes de temporalidad. En gris se muestran los meses en los cuales existen limitaciones en la realización de las actuaciones forestales debido a cada condicionante.

Condicionante	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Conservación de fauna Reproducción de rapaces												
Climatología Accesibilidad por lluvias												
Daños abióticos Riesgo de incendios												
Daños bióticos												
<i>Tomicus destruens</i>	Corta											
	Apilado											
<i>Matsococcus feytaudi</i>	Corta											
	Apilado											
Aprovechamientos forestales: madera												

3.4. Transferencia de los condicionantes a nivel espacial y generación de la herramienta GIS

Los condicionantes logísticos y económicos anteriores son la base de elaboración de la herramienta GIS. Para ello, se elabora una malla que recoge toda la información, pudiendo tomar como referencia la resolución de una de las capas de información (en el presente trabajo, se toma la resolución de 20m de la capa de variables biofísicas (CREAF, 2015)). Seguidamente, se extrae a la malla la información de las capas espaciales de base, y se filtra según los valores umbral de cada condicionante. A medida que se lleva a cabo el proceso se va incorporando la información resultante a la malla base, de manera que cada campo presenta información relevante para la toma de decisiones. Una vez finalizado el proceso y completada la malla, se obtiene la herramienta GIS. La información de cada una de las celdas se define en unidades/ha.

La información espacial de base se centra en: formaciones forestales a partir del mapa de cubiertas del suelo de Catalunya (CREAF, 2009); variables dasométricas a partir del mapa de variables biofísicas de arbolado de Catalunya (CREAF, 2015); mapa de decaimiento 2015-2017

(ICGC, 2017); pendiente a partir del modelo digital de elevaciones de 5m (ICGC, 2016); combustibilidad a partir del mapa de combustible de superficie adaptados a Catalunya, (GONALEZ-OLABARRIA et al., 2019); y accesos a partir de la red viaria del mapa topográfico de Catalunya a escala 1:25.000 y 1:5.000 (ICGC, 2011).

4. Resultados

La herramienta GIS obtenida es una capa vectorial formada por diversos campos que aportan información clave a nivel logístico para el ámbito de la APMC en celdas de 20m de resolución. Los campos que la componen aportan datos de los condicionantes y los resultados del proceso de toma de decisiones.

La Figura 1a muestra que un 47% de la superficie forestal arbolada del ámbito de la APMC, se encuentra en un estado donde es posible y/o necesario el desarrollo de tratamientos selvícolas. A nivel de tratamientos, la entresaca es el tratamiento más aplicable (65%); seguida de la clara selectiva (15%); y cortas sanitarias derivadas del decaimiento del pino piñonero y pinastre, concentradas en la vertiente costera (11%). Por el contrario, las cortas a hecho (1%) y los resalveos (6%) presentan una menor superficie potencial.

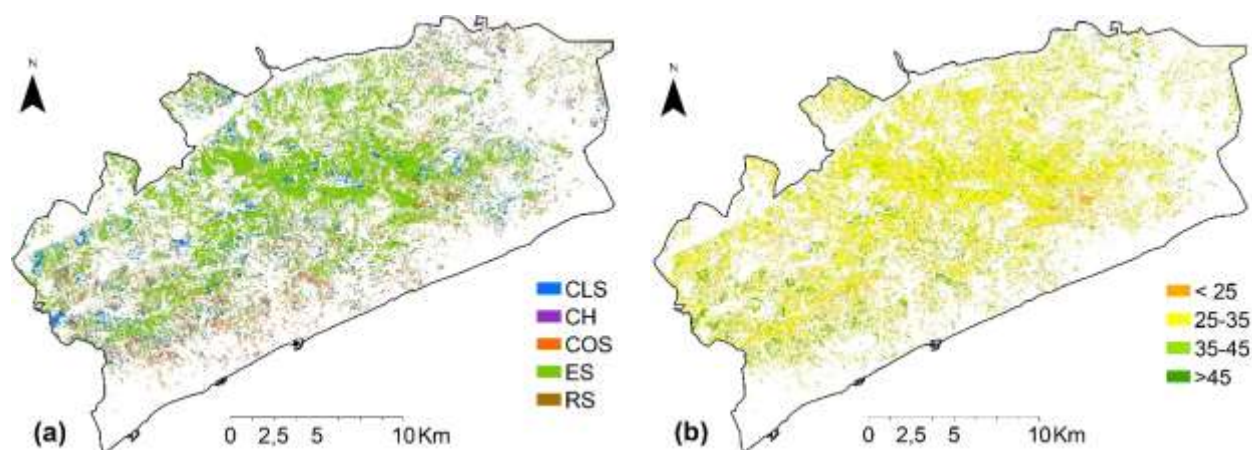


Figura 1. a) Tratamientos selvícolas potenciales dónde CLS: clara selectiva, CH: corta a hecho, COS: corta sanitaria, ES: entresaca, RS: resalveo y b) cantidad total de producto extraíble (tn/ha).

Respecto a la cantidad de producto extraíble (Figura 1b), los valores mayoritarios se encuentran entre 25-35 tn/ha (54%). Las cantidades más altas (20%) se localizan en las zonas de cortas sanitarias o cortas a hecho; los valores más bajos, por el contrario, en zonas de resalveo o entresacas suaves. Según la tipología de producto, los productos con mayor presencia son: la leña de encina (97%), de madroño (83%), la sierra para palet de pino piñonero (81%) y la trituración (79%). Por el contrario, los productos de presencia más escasa son: la sierra para palet del resto de pinos y la sierra de calidad. Las cantidades extraídas de cada tipo de producto son variables según la presencia de cada especie y sus características. La astilla es el producto en el que se extraen cantidades más altas (>20 tn/ha), provenientes mayoritariamente de cortas sanitarias. También son altas las cantidades extraídas de sierra para palet de pino radiata (20-30 tn/ha) aunque representan una escasa superficie. Las leñas de encina se reparten por todo el macizo con una extracción media de 10-20 tn/ha, mientras que el roble se concentra en la parte central. Finalmente, la sierra de calidad es el producto que presenta menores extracciones (<5 tn/ha).

A nivel de accesibilidad, tan solo un 17% de las zonas con tratamientos selvícolas potenciales se encuentran inaccesibles, concentradas en la parte central del macizo y en la vertiente costera. En las zonas consideradas accesibles, el método de desembosque más idóneo es el tractor con

cabrestante siendo en tan solo un 13% de las zonas de tratamientos potenciales preferible el uso de autocargador, concentradas en las zonas de cortas sanitarias o a hecho. El autocargador se puede utilizar mismamente como medio de transporte en aquellas zonas situadas a menos de 2km del destino del producto (7%). En aquellas zonas situadas a menos de 5-10 km del destino donde no se ha usado previamente autocargador se propone el uso de tractor con remolque (30%). El camión 3 ejes es preferible para el resto de zonas.

Una vez evaluadas las plataformas logísticas en el ámbito de la APMC se concluye que son suficientes para el acopio de los productos extraídos. Aunque para la sierra para palet, existe una zona alejada donde los costes se incrementan, su localización en las partes más inaccesibles del ámbito de estudio hace dificultoso e inviable el establecimiento de una nueva plataforma.

En la elección de destinos (Figura 2), las industrias alejadas no se consideran como opción siempre y cuando exista un destino más cercano. Por esta razón, tres de las industrias evaluadas no han sido consideradas como destinos prioritarios. A nivel de tipología de productos, la trituración y las leñas de encina y roble son los productos con mayor variedad de destinos. Por el contrario, la baja rentabilidad y demanda de las leñas de alcornoque; la baja cantidad de sierra de calidad; y la preferencia de establecimiento de las industrias de palet en zonas con mayor presencia de coníferas; son los motivos de la baja presencia de industrias para este tipo de productos. Finalmente, es necesario destacar la importancia de las plataformas temporales para el almacenamiento de trituración y astilla, debido a la poca presencia de industrias en su ubicación, así como la plataforma permanente ubicada en un punto clave como destino de astilla, leñas de alcornoque y madera de calidad.

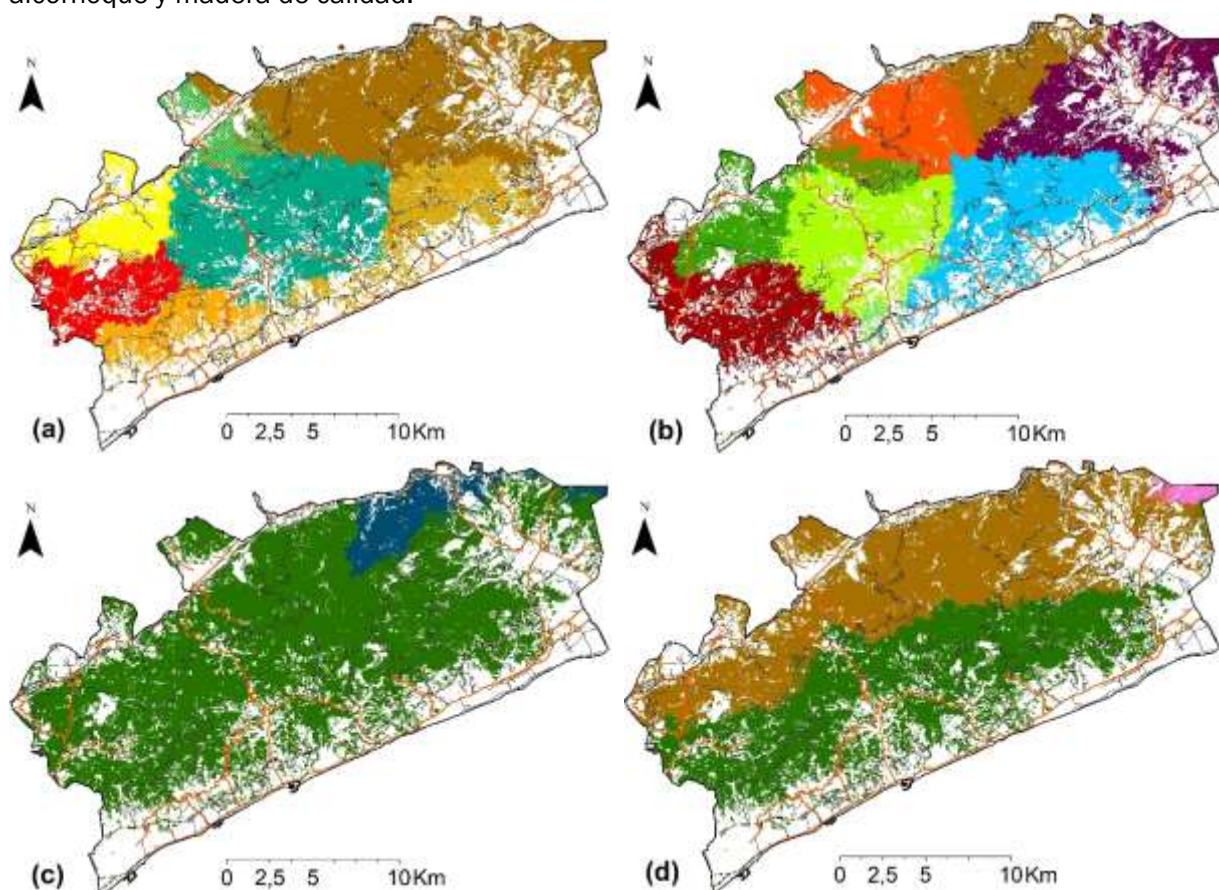


Figura 2. Destinos que minimizan los costes de transporte para a) trituración, b) leñas de encina, c) sierra para palet y d) sierra de calidad (cada color representa una industria).

A nivel de costes, la mayoría de las zonas (66%) presentan unos costes de tratamientos de entre 1500-2000€/ha (Figura 3a). Los costes superiores a 2500€/ha son los derivados de las cortas sanitarias, donde el volumen de producto extraído es alto. El coste desbroce selectivo influye enormemente al coste final de los tratamientos ya que en las peores situaciones (pendiente >50% y combustible alto) los costes de los tratamientos son superiores a 2000€/ha mientras que en la situación contraria son inferiores a 1500€/ha.

En referencia a los costes del transporte (Figura 3b), se sitúan mayoritariamente (45%) entre los 300-400€/ha. En las zonas más inaccesibles y alejadas de la mayor parte de destinos (19%), los costes se sitúan entre 400-500€/ha, habiendo solo un 9% de zonas con costes mayores a los 500€/ha. En cuanto a los ingresos (Figura 3c), éstos suelen ser inferiores a 1500€/ha (58%) o entre 1500-2000€/ha (31%). Los ingresos superiores se concentran en zonas concretas de alta potencialidad de madera de calidad o altas cantidades de leña de encina, situados en zonas muy localizadas.

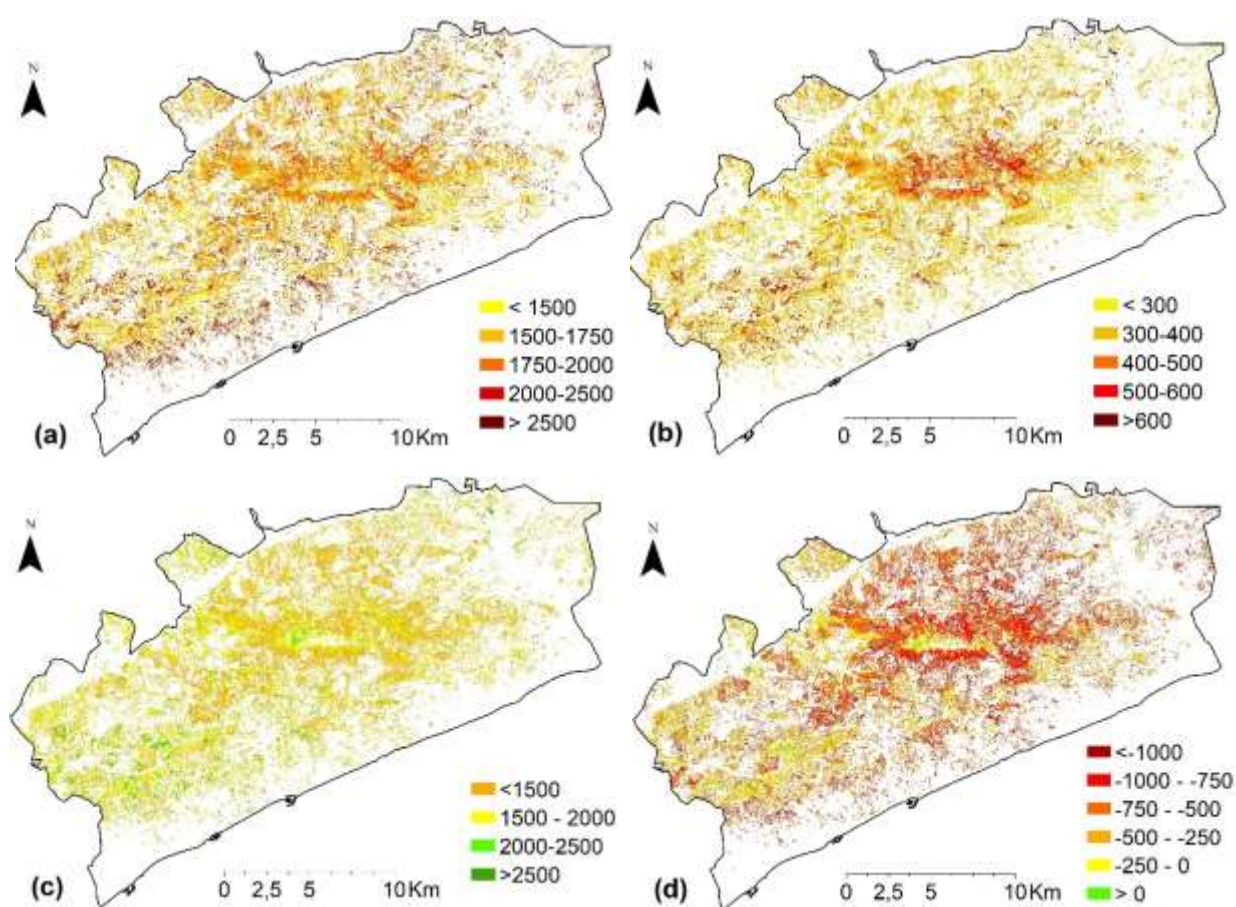


Figura 3. a) Coste de los tratamientos selvícolas (€/ha), b) coste del transporte (€/ha), c) ingresos derivados del producto (€/ha) y d) balance final (€/ha).

Con todo, en el balance final (Figura 3d), se observa que la mayor parte de las actuaciones forestales son deficitarias entre -250 y -1000 €/ha (74%), estando los balances habituales entre -500 y -750 €/ha. Las zonas con mayores costes de desbroce suponen unos balances más deficitarios ya que se trata de una inversión no compensada con la venta de producto. Otras zonas de balance muy deficitario son las cortas sanitarias intensas donde se extrae un producto de muy bajo valor, que tampoco compensa los costes. Las zonas con balance positivo son escasas (3%) y se

centran en las zonas donde la sierra de calidad presenta una proporción destacable o zonas de cortas a hecho. Finalmente, en las zonas con un coste de desbroce bajo y extracción de leñas de encina, los balances se sitúan sobre los -250€/ha.

5. Discusión

Una vez analizados los resultados obtenidos a partir de la herramienta GIS, se observa que, a grandes rasgos, la herramienta sigue las tendencias observadas en las distintas zonas del ámbito de estudio, según la experiencia de la APMC. Aunque no ha sido posible la realización de una validación, se esperan discrepancias con la realidad a nivel de celda, debido a las limitaciones temporales, espaciales y de simplificación de la propia herramienta.

La primera de las limitaciones hace referencia al importante peso de los condicionantes espaciales en los resultados, pudiendo haber otros condicionantes no representables a nivel espacial que tengan un peso importante en la toma de decisiones (ej. cambios en los mercados de la madera). En segundo lugar, cada capa de condicionantes espaciales está representada para un momento concreto en el tiempo, pudiéndose ver afectada en mayor o menor medida por la temporalidad. No obstante, es preferible mantener los datos originales y apoyarse en información de campo en el momento de uso de la herramienta, a aplicar crecimientos teóricos o simulaciones, para reducir el riesgo de sobreestimación. Finalmente, otra limitación es la derivada de su simplificación, como la focalización en sólo productos madereros, la no incorporación de productos y métodos potenciales, etc.

Por este motivo, los resultados obtenidos aportan una información de apoyo en la toma de decisiones, pero en ningún caso son aptos para el uso directo sin una comprobación previa en campo y la inclusión de particularidades propias de cada zona a actuar. Con todo, la herramienta está pensada como información de soporte, con la finalidad de tener un conocimiento inicial y una visión global de las posibles zonas de actuación antes del desarrollo de las mismas. Asimismo, se espera que sea una herramienta dinámica en el tiempo, adaptable a cambios futuros. Para ello se pretenden automatizar los procesos e incorporar los resultados en una base de datos de manera que cambiando las capas de los condicionantes de origen y/o los valores umbral de los condicionantes, se pueda ir actualizando la herramienta GIS.

Respecto a la metodología empleada, se considera replicable a otros ámbitos similares (macizo o asociación de propietarios), siendo necesaria la adaptación a las características de la zona de estudio en cuestión. Es especialmente importante la recogida de la experiencia de los gestores de la zona ya que marcará la selección de los condicionantes y sus valores umbral.

6. Conclusiones

En conclusión, el sistema logístico piloto desarrollado para el ámbito de la APMC permite obtener una herramienta GIS útil para la toma de decisiones del coordinador logístico y, a la vez, una metodología replicable a otros ámbitos similares. Aunque la herramienta se encuentra limitada por la disponibilidad de datos espaciales actualizados; se trata de un instrumento dinámico el cual se puede modificar y adaptar a los cambios futuros mediante una fácil incorporación de condicionantes y valores umbral. Asimismo, se recoge la experiencia de los gestores de la zona en un único utensilio; siendo muy útil como información de partida antes del desarrollo una actuación concreta, para planificar actuaciones a corto plazo o bien para prever necesidades logísticas y económicas. No obstante, se trata de una herramienta que aporta información complementaria simplificada, siendo necesaria la incorporación de las particularidades de cada actuación recogiendo información en campo.

7. Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias a la cofinanciación del programa LIFE (LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060)) y la recolección de la experiencia del equipo técnico de la Agrupación Forestal del Montnegre y Corredor SL.

8. Bibliografia

ASSOCIACIÓ DE PROPIETARIS FORESTALS DEL MONTNEGRE I EL CORREDOR (APMC); 2015. Millora de l'eficiència dels sistemes de treta de biomassa al Massís del Montnegre i el Corredor. Fase de plantejament i redacció. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural.

CENTRE DE LA PROPIETAT FORESTAL (CPF); 2016. Nota informativa sobre les condicions tècniques en la gestió de piles de biomassa en els aprofitaments forestals. Disponible en: <https://www.boscat.cat/wp-content/uploads/2016/05/NOTA-INFORMATIVA-condicionants-piles-biomassa2016.pdf> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CONSORCI FORESTAL DE CATALUNYA (CFC); 2020. Taula de preus de la fusta. Disponible en: <https://www.forestal.cat/web/mercats> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (CREAF); 2009. Mapa de cobertes del sòl de Catalunya v4. Descargable en: <https://www.icgc.cat/Descarregues/Mapes-en-format-d-imatge/Cobertes-del-sol>. (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (CREAF); 2015. Mapa de variables biofísiques de l'arbrat de Catalunya. Descargable en: <https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Capes-de-geoinformacio/Mapes-de-variables-biofiques-de-l-arbrat-de-Catalunya>. (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CENTRE DE CIÈNCIA I TECNOLOGÍA FORESTAL DE CATALUNYA (CTFC); CENTRE DE LA PROPIETAT FORESTAL (CPF); ASSOCIACIÓ DE PROPIETARIS FORESTALS DEL MONTNEGRE I EL CORREDOR (APMC), ASSOCIACIÓ DE PROPIETARIS FORESTALS SERRA DE BELLMUNT-COLLSACABRA (APSBE); 2018. Pliego de condiciones técnicas de las intervenciones demostrativas a implementar en los rodales C1-C4. LIFE MixForChange. LIFE15 CCA/ES/000060. Disponible en: <https://mixforchange.es> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

CENTRE DE CIÈNCIA I TECNOLOGÍA FORESTAL DE CATALUNYA (CTFC); CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I APLICACIONS FORESTALS (CREAF); DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE (DMAH); 2009. Pla estratègic d'aprofitament energètic dels boscos del Pallars Sobirà. Descargable en: http://agricultura.gencat.cat/web/.content/06-medi-natural/gestio-forestal/enllacos-documents/biomassa-forestal/fitxers-binariis/estudi_pallars.pdf (Último acceso: 3 de enero de 2022).

DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA I ALIMENTACIÓ (DARP); 2020. Guia de preus per actuacions forestals subvencionables. Estàndard d'avaluació de costos.

Disponible en: <http://agricultura.gencat.cat/web/.content/02-tramits/enllacos-documents/09653/m0609-an6.pdf> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

GUITART, L; ROSELL, M; 2014. Demostració de l'aplicació de nous models de gestió per a l'adaptació al canvi climàtic de masses d'alzina i suro al Massís del Montnegre i el Corredor. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural.

GONZÁLEZ-OLABARRIA, JR., PIQUÉ, M. BUSQUETS, E.; 2019. Cartografia de vegetació per la simulació d'incendis forestals. Servidor PREVINCAT. Disponible en: <http://previncat.ctfc.cat/> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC) ; 2011. Base topogràfica de Catalunya 1:5.000. Descargable en: <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Descargas/Cartografia-topografica/Base-topografica-de-Cataluna-1-5.000> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC) ; 2011. Base topogràfica de Catalunya 1:25.000. Descargable en: <https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Descarregues/Cartografia-topografica/Base-topografica-1-25.000> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC) ; 2016. Model d'Elevacions del Terreny de Catalunya 5x5 m. Descargable en: <http://www.icc.cat/appdownloads/index.html?c=dlfxmde5m> (Último acceso: 3 de enero de 2022).

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA (ICGC); 2017. Anàlisi de les masses boscoses del Maresme: Estudi del seu decaïment a partir d'imatges Sentinel-2. Cartografia descargable en: <https://dadesobertes.diba.cat/datasets/decaiment-de-la-massa-forestal-dels-boscoss-del-maresme>. (Último acceso: 3 de enero de 2022).

FERNÁNDEZ, J; 2021. Eines per a la presa de decisions a escala regional. Ponencia. Jornada: Millora de l'eficiència en la logística de les actuacions forestals. 18 d'octubre de 2021, online.

RODRÍGUEZ, J.; JUANATI., C; PIQUÉ., M; TOLOSANA., E; 2005. Tècniques de desembosc en l'aprofitament forestal. Colección: Sistemes i tècniques de desembosc. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. Centre de la Propietat Forestal.

SCOTT, J.; BURGAN, RE.; 2005. Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive set for use with Rothermel's Surface fire spread model. United States Department of Agriculture. Forest Service.

SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA; 2017. Normal climàtica de l'estació de Dosrius-PN Montnegre Corredor periodo 2007-2016. Disponible en: <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/normals-climatiques-recents/> (Último acceso: 3 de enero de 2022).