Published articles

ACTION E3

FOREST OWNERSHIP CENTRE

30/09/2022

LIFE16 CCM/ES/000065

CLIMARK
Forest management promotion for climate change mitigation through the design of a local market of climatic credits

DELIVERABLE

29

PUBLISHED ARTICLES

In order to disseminate the LIFE CLIMARK project among the people involved and those interested in the forestry sector, a number of articles have been published in specialised forestry journals within the framework of E3 action. This document gives a list and a summary of such articles, indicating the journals where they have been published. Articles are shown as they were published with details of where to find them.

Contents

1. Objective of the action 4
2. Publications 4
3. Summary of publications 6
Annex. Published articles 7

1. Objective of the action ambito

This task is part of the project's action E3, which focuses on publicising the project and its results. The goal set for this line of action was to publish at least two informative articles in specialised forestry journals, to explain the project to owners, forest managers, technicians, specialists and potential promoters of climate credits.

2. Publications

A total of 7 articles were published between 2018 and 2022 (Table 1):

- Three articles in the journal *Silvicultura*. This is the journal of the Forest Ownership Centre which publishes technical-scientific articles related to projects within Catalonia or of general interest. The practical information sheets are part of a special section of the journal, in which a case of forestry management, its procedure and results are presented. Both articles published in this journal are practical fact sheets related to plantations and their carbon impact.
- An article in the journal *Catalunya Forestal*, the official publication of the Consorci Forestal de Catalunya (Association of private owners, companies and associations in the forestry sector), where technical and topical articles about forestry are published.
- An article in the journal *Sherewood*, a technical-scientific publication about the Italian forestry sector, disseminating information among experts, managers and forest owners.
- An article in the publication for the 34th Technical Workshop on Silviculture of the Consorci Forestal de Catalunya, which lists the articles written by the conference coordinators within the framework of the 29th Technical Workshop on Silviculture in 2022.
- An article in the 8th Spanish Forestry Congress framework. The congress offers a space to show the results of the technical-scientific investigations and experiences of the Spanish forestry sector. The congress has a platform to publish articles abouts the conferences and the studies shown.

Table 1. Key details of publications

Article title	Journal	Publication number	Date	Language	Links
Fitxa pràctica: Evolució d'una plantació d'alzina surera a la Selva, 20 anys després	Silvicultura	78	October 2018	Catalan	http://cpf.gencat.cat/ca/detalls/Article/silvicultura_78
Fitxa pràctica: Plantacions d'enriquiment	Silvicultura	80	October 2019	Catalan	http://cpf.gencat.cat/web/.content/or_organismes/or04_centre_propietat_forestal/06-Publicacions/revista_silvicultura/numeros_

					publicats/documents/0080_Articles/A6_Fitxa-practica_plantacions-enriquiment.pdf
Posant en valor el paper de la gestió forestal en la lluita contra el canvi climàtic: El projecte LIFE CLIMARK	Catalunya Forestal	143	March 2020	Catalan	https://www.forestal.cat/bdds/imatges_db/revistes/document_1/REVISTA_3078800015864081.pdf
Pregetto LIFE CLIMARK: non solo carbonio	Sherewood	257	March - April 2022	Italian	"Accessible for subscribers only"
Impacte de la gestió de les pinedes de pi blanc en els serveis ecosistèmics: carboni, aigua i biodiversitat. Experiències de monitoratge del balanç d'aigua de dues "conques bessones" a la Llacuna.	34th Technical Workshop on Silviculture	39	June 2022	Catalan	https://www.forestal.cat/web/biblioteca/publicacions
Projectes innovadors: Life Climark	Silvicultura	86	June 2022	Catalan and Spanish	http://cpf.gencat.cat/ca/detalls/Article/silvicultura_86
Impacto de la gestión forestal multifuncional en la fijación de carbono en pinares de pino Carrasco post-incendio	8th Spanish Forestry Congress	373	July 2020	Spanish	https://8cfe.congresoforestal.es/es/content/impacto-de-la-gestion-forestal-multifuncional-en-la-fijacion-de-carbono-en-pinares-de-pino

3. Summary of publications

The article "Fitxa pràctica: Evolució d'una plantació d'alzina surera a la Selva, 20 anys després" analyses the evolution, current status and results of an experimental cork oak plantation twenty years ago. Information is provided on why this action was taken, how it was carried out, stand data, survival rate and numerical data on the current condition of the stand. Aspects such as growth yields and the amount of carbon absorbed are assessed.

The article "Fitxa pràctica: Plantacions d'enriquiment" explains the technical and economic characteristics of carrying out 3 enrichment plantings in different counties with different initial situations. The technical and economic conditions of the project are presented and its feasibility is assessed. Data are provided on the carbon sequestration potential of plantations.

The article "Posant en valor el paper de la gestió forestal en la lluita contra el canvi climàtic: El projecte LIFE CLIMARK" explains the situation of CO_2 emissions in Europe and Catalonia and talks about the regulated and voluntary carbon market. It details the fundamental idea behind the implementation of the LIFE CLIMARK project and the concept of sustainable forest management for mitigating and adapting to climate change in the Mediterranean through three key factors: carbon, water and biodiversity. It outlines ways to measure carbon credits and the expected demand for them in Catalonia, as well as the project's possibilities.

The article "Pregetto LIFE CLIMARK: non solo carbonio" is a brief introduction to how forests can contribute to mitigating and sequestering carbon in the atmosphere to reduce the greenhouse effect. It explains the concept of climate credits, forest management to mitigate climate change and the main idea of the LIFE CLIMARK project, involving the management of mature forests, agro-forestry plantations and fire prevention. It ends with a positive assessment in favour of climate credits.

The article "Impacte de la gestió de les pinedes de pi blanc en els serveis ecosistèmics: carboni, aigua i biodiversitat. Experiències de monitoratge del balanç d'aigua de dues 'conques bessones' a la Llacuna" presents the objective, results and conclusions of applying the methodology of the LIFE CLIMARK project to the management of an Aleppo pine forest. The effects on the carbon balance, water balance and biodiversity of the sites treated are analysed in comparison with unmanaged areas. The results of analysing the water balance of two twin catchments by installing sensors are also presented.

The article "Projectes innovadors: Life Climark" explains the main objectives of the project: to improve the multifunctional forestry management for the climatic change mitigation and adaptation implementing a volunteer climatic credit market. Also, the climatic credit characteristics are exposed.

The Article "Impacto de la gestión forestal multifuncional en la fijación de carbono en pinares de pino Carrasco post-incendio" exposes the methodology, results, and conclusions of a study based on the application of silvicultural treatments on post-fire forests with null of low previous anthropic interventions, and its atmospheric carbon absorption and retention capacity. The carbon balance calculous methodology is evaluated, also.

Annex. Published articles

1. *Fitxa pràctica: Evolució d'una plantació d'alzina surera a la Selva, 20 anys després.*
2. *Fitxa pràctica: Plantacions d'enriquiment.*
3. *Posant en valor el paper de la gestió forestal en la lluita contra el canvi climàtic: El projecte LIFE CLIMARK.*
4. *Pregetto LIFE CLIMARK: non solo carbonio.*
5. *Impacte de la gestió de les pinedes de pi blanc en els serveis ecosistèmics: carboni, aigua i biodiversitat. Experiències de monitoratge del balanç d'aigua de dues "conques bessones" a la Llacuna".*
6. *Projectes innovadors: Life Climark.*
7. *Impacto de la gestión forestal multifuncional en la fijación de carbono en pinares de pino Carrasco post-incendio.*

FITXA PRÀCTICA

Evolució d'una plantació d'alzina surera a la Selva, 20 anys després

RESUM

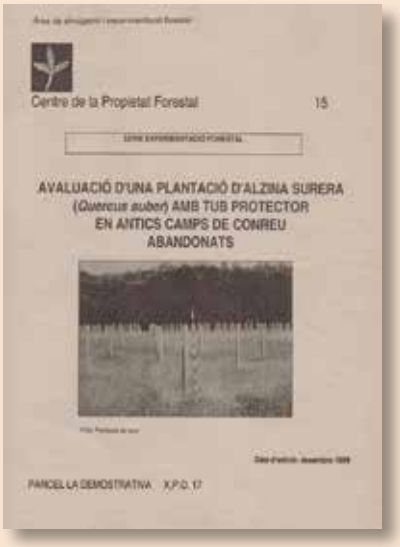
S'analitza l'evolució d'una plantació experimental d'alzina surera en un camp d'una finca agroforestal de la Selva, 20 anys després de la seva instal·lació.

Plantació realitzada per la propietat en col·laboració amb el Centre de la Propietat Forestal (CPF), en el marc de la seva Xarxa de Parcel·les Demostratives, l'any 1998.

EL CONTEXT: Posada en valor de terrenys agrícoles marginals amb espècies forestals de valor afegit, com l'alzina surera

La plantació que il·lustra aquesta fitxa forma part d'una primera tongada de parcel·les demostratives i experimentals instal·lades per propietaris forestals en col·laboració amb el CPF, entre els anys 1994 i 1999. Un grup d'aquestes parcel·les tenien com a objectiu avaluar la viabilitat de plantacions de diverses espècies forestals d'interès com ara l'alzina surera i d'altres com el pinastre, el pi roig o el cirerer, en camps abandonats pel seu baix rendiment agrícola.

En la jornada final del projecte Life+Suber, celebrada el mes de juny de 2018 a Barcelona, es va advocat per augmentar la superfície de sureda cap a zones més productives, atès l'interès estratègin del suro en el marc de la bioeconomia. L'anàlisi i la divulgació de l'evolució de plantacions de surera 20 anys després de la seva instal·lació, aporta coneixement pràctic de valor per abordar aquesta tasca.


Centre de la Propietat Forestal 15

AVALUACIÓ D'UNA PLANTACIÓ D'ALZINA SURERA (*Quercus suber*) AMB TUB PROTECTOR EN ANTICS CAMPS DE CONREU ABANDONATS

PARCEL·LA DEMOSTRATIVA X.P.D. 17

Figura 1. Portada de la fitxa divulgativa núm. 15, publicada l'any 1999, sobre la plantació de suros a Can Aulet.

L'ACTUACIÓ: Plantació d'alzina surera en un camp poc productiu de la Selva

La plantació es va realitzar l'any 1988 a la finca agroforestal de Can Aulet, amb PTGMF núm. 43 i situada entre els municipis de Vidreres i Caldes de Malavella. Es van plantar al voltant de 1.000 suros en un camp d'1,7 hectàrees, cultivat fins llavors amb cereal de baix rendiment atesa la seva proximitat amb l'àrea entollable de la riera. 20 anys després, n'analizem la seva evolució.

Figura 2. Estat de la plantació l'any 2000 (esquerra) i l'any 2018 (dreta).

EXECUCIÓ I MANTENIMENT DE LA PLANTACIÓ

1. Dades del rodal

Tipus de sòl	Granític
Exposició	Nord-oest
Altitud	110-115 m
Pluviometria mitjana anual	810 mm

Figura 3. Aspecte de la plantació l'any 1998, un cop col·locats els tubs i tutors.

2. Material vegetal emprat

- **Alzina surera** (*Quercus suber*). Planta en contenidor d'una saba, procedent de Darnius.

3. Execució de la plantació

- Marc de plantació/densitat: 4x4 m, que corresponen a 625 plantes/ha. L'objectiu de la plantació és obtenir uns 400 peus productors/hectàrea a mig termini.
- Preparació del terreny mitjançant llaurada i plantació en clots de 40x40x40 cm.
- Instal·lació de protectors individuals de tub de 1,80 m d'alçada i 8-12 cm de diàmetre i tutor de fusta de 1,60 m d'alçada.

4. Feines de manteniment

- Durant aquests 20 anys de la plantació, s'han fet 3 llaurades.
- Eliminació dels tubs protectors a mesura que els arbres anaven creixent i tenien un port resistent per no tombar-se per l'embat del vent.
- Esporgues de formació amb l'objectiu d'eliminar les branques secundàries baixes.
- Selecció de tanys, als 15 anys de la plantació (2013).

SUPERVIVÈNCIA DE LA PLANTACIÓ I INCIDÈNCIES ELS PRIMERS ANYS

Els primers mesos la plantació es va veure afectada lleugerament pels senglars, que van gratar i desenterrar els plançons plantats.

El primer any hi va haver un **20% de mortalitat** (CPF, 1999), concentrada a les 2-3 rengleres de la part nord del rodal, corresponent a la zona més baixa, pedregosa i inundable. Els arbres supervivents en aquesta zona presentaven poc vigor, per la qual cosa es va descartar la reposició de marres.

El vent de Gregal/Llevant, va provocar l'escapçada d'algunes plantes a mida que els plançons ja havien assolit i superat l'alçada del tub protector però eren encara massa esvelts.

Es van trobar petites diferències de desenvolupament segons el diàmetre de tub emprat, essent el de 10 cm el que donava millors resultats. La presència dins el tub d'una mala herba, que podia arribar a ofegar el plançó, va obligar a instal·lar novament els tubs protectors, un cop eliminada l'herba.

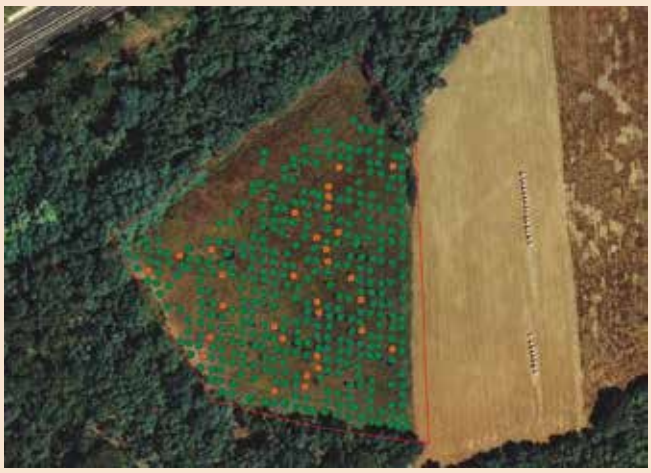


Figura 4. Croquis de la plantació amb els arbres presents a l'actualitat, on s'observa la franja de marres en la zona entollable. En taronja, mostra d'arbres mesurats pel seguiment.

EVOLUCIÓ I ESTAT ACTUAL DE LA PLANTACIÓ

Figura 5. Vistes generals de la plantació al 2018.

20 anys després, el creixement de la plantació es considera molt bó, amb un **42% d'arbres que ja han assolit la mida mínima per al despelagrinatge**. L'alçada mitjana de 7,2 m —amb alçades dominants per sobre els 8 m, i un diàmetre mitjà quadràtic de 17 cm sota suro—, són superiors als esperats en qualitats d'estació alta, d'acord amb l'edat de la plantació (Vericat *et al.*, 2013).

La massa presenta una heterogeneïtat fenotípica elevada amb gran dispersió de mides, característica de l'espècie, sumada a la pròpia heterogeneïtat del rodal, essent predominants les classes diametrals (CD) 10, 15 i 20. Els individus més grans superen els 30 cm de diàmetre. Les **característiques morfològiques** de l'arbrat són bones en més d'un 60% dels arbres, cosa que permet mantenir l'objectiu inicial de 400 peus productius/ha.

No hi ha hagut més episodis de **mortalitat** al llarg d'aquests 20 anys.

Dades per hectàrea (2018)**	
Densitat (peus/ha)	625
Mortalitat (%)	20,15
Densitat total vius (peus/ha)	499
Peus inventariables/ha	458
Peus menors no inventariables/ha	41
AB (m^2/ha)	10,97
Alçada mitjana	7,17
Volum (m^3/ha)	38,14

Distribució diametral (2018)		
CD	**N (peus/ha)**	**AB (m^2/ha)**
10	122	0,96
15	132	2,34
20	163	5,12
25	20	1,00
30	10	0,72
Total	**458**	**11,12**

Evolució de la plantació (1998-2018)							
Estadi de la plantació	**Ho (m)**	**N (peus/ha)**	**Dg (cm)**	**AB (m^2/ha)**	**Volum (m^3/ha)**	**Edat (anys)**	**Fcc (%)**
Estat de la plantació als 10 anys (2008)*	4	477 (on 334 no són inventariables)	6,5	1,12	12,46	10	20
Estat de la plantació als 20 anys (2018)**	8,95	458	16,44	11,12	38,14	10	75

* Dades subministrades per la propietat.
** Dades obtingudes pel CPF.

Figura 6. L'aspecte del gruix de pelagrí als individus més grans —que ja es podrien despelagrinar—, contrasta amb la presència d'individus de CD 10, al fons.

Figura 7. El port arbori de la majoria de l'arbrat és bo (esquerra). Un 22% dels arbres presenten més d'un tany per soca (dreta).

VALORACIÓ

- **Plantació vs sembra:** En els darrers anys s'ha qüestionat la plantació d'alzina surera en favor de la sembra, ja que la poca profunditat dels alvèols de les safates contenidores podria limitar el creixement pivotant de l'arrel, clau en la surera, que depèn del desenvolupament ràpid de l'arrel principal per superar la sequera (Mundet *et al.*, 2018). En zones on l'aigua no és limitant, com és el cas, la plantació segueix sent una alternativa viable, sobretot per terrenys plans i accessibles, que n'abarateixen els costos.
- **Protectors:** Tot i l'eficàcia quant a la protecció demostrada pels protectors de tub, els problemes colaterals que generen (efecte sobre el microclima, amb conseqüències sobre el creixement de l'herba i l'atracció de fauna, i esveltesa de la planta) han fet que avui dia siguin majoritàriament substituïs per protectors de malla plàstica o metàl·lica. L'experiència de la finca mostra que l'avantatge que podria suposar el fet que els tubs fossin biodegradables, no s'ha complert i ha calgut invertir mà d'obra en retirar-los.
- **Rendiments:** El rendiment de la plantació es pot considerar excel·lent, amb una alçada dominant de més de 8 m i un diàmetre mig sota suro de 17 cm a l'edat de 20 anys. El model proposat per Vericat *et al.* (2013) per a masses regulars de qualitat alta, proposa despelagrinar al voltant dels 30 anys, quan s'assoleixin els 16,5 cm de diàmetre mig sota suro (>75 cm de perímetre). En aquest cas, atesa la dispersió de mides dins el rodal, i el fet que hi hagi altres rodals de sureda dins la finca que permetin ajuntar les tasques, ha permès fer un primer despelagrinatge dels suros majors (uns 200 peus/ha) als 20 anys de plantació, el juliol de 2018. Tot i que l'entrada sobtada d'altes temperatures va forçar l'aturada del despelagrinatge, s'espera poder-lo acabar l'any vinent.

Figura 8. Aspecte de l'arbre mort per possible afectació de *Phytophtora cinnamomi.*

- **Riscos:** L'estiu de 2018, just després de la presa de dades, la propietat va observar la mort de l'arbre de majors dimensions de la plantació, possiblement relacionada amb l'alta pluviometria registrada aquest any, molt per sobre de la mitjana. Això hauria provocat l'entollament temporal del terreny, afavorint la presència del patògen *Phytophthora cinnamoni*, causant de la mort súbita de l'arbre. A hores d'ara, sembla que l'afectació ha quedat restringida a aquest individu. Davant les projeccions d'una major recurrència de fenòmens extrems, com aquests aiguats, és recomanable evitar camps potencialment entollables per a plantacions forestals.

Bibliografia

CPF (1999). Avaluació d'una plantació d'alzina surera (*Quercus suber*) amb tub protector en antics camps de conreu abandonats. Fitxa divulgativa 15. Sèrie de divulgació i experimentació forestal

Mundet, R.; Baiges, T.; Beltrán, M.; Torren, T (2018). *Guia de recomanacions i mesures d'adaptació al canvi climàtic en la gestió del* Quercus suber. Projecte Life+Suber. Barcelona, 136 pp. http://cpf.gencat.cat.

Vericat, P.; Beltrán, M.; Piqué, M.; Cervera, T. (2013). *Models de gestió per als boscos de surera* (Quecus suber, *L.*): *producció de suro i prevenció d'incendis forestals.* Sèrie ORGEST. CPF. DARP. Generalitat de Catalunya. 169 pp.

El seguiment d'aquesta plantació ha estat finançat pel projecte Life+Climark, que té com a objectiu diversificar el finançament de la gestió forestal posant en valor el seu paper en la mitigació i adaptació dels boscos al canvi climàtic. Aquesta plantació ha fixat en 20 anys 47,6 tones de carboni.

Autoria

Teresa Baiges i Joaquim Garcia (Centre de la Propietat Forestal)

Agraïments

Enric Sanmartí (Propietari)

Fitxa pràctica

Plantacions d'enriquiment

RESUM

Es descriuen les característiques tècniques i econòmiques de tres plantacions d'enriquiment demostratives dutes a terme a les comarques de la Noguera, l'Anoia i l'Alt Penedès, en diferents situacions de partida i amb diferents objectius.

Plantacions realitzades entre novembre de 2018 i gener de 2019 pel Centre de la Propietat Forestal (CPF) en col·laboració amb la propietat, en el marc del projecte LIFE CLIMARK, co-finançat per la Unió Europea.

EL CONTEXT: Plantacions, més enllà de la producció de fusta? Adaptació, mitigació climàtica i millora de la biodiversitat

A Catalunya, les plantacions forestals com a opció productiva queden restringides a les zones més humides on el rendiment esperat de la fusta de qualitat en compensa els alts costos d'execució i manteniment. Però ja fa uns anys que altres motius (sense o en combinació amb els productiu) han dut gestors/es i recercadors/es a interessar-se per un tipus de plantacions forestals de més ampli espectre territorial: les plantacions d'enriquiment.

Plantació d'enriquiment amb cirerer a un fons de vall al Montnegre.

Les plantacions d'enriquiment busquen introduir o incrementar la proporció d'una o més espècies en una massa forestal pre-existent (Coello *et al.*,2019) i són una pràctica habitual en la silvicultura propera a la natura. El propòsit general és augmentar la complexitat de composició i estructura del bosc, amb la qual cosa, de retruc, s'aconsegueix: d'una banda, millorar la persistència de la massa arbrada enfront de pertorbacions, i, de l'altra, aprofitar el potencial productiu de les micro-estacions més favorables (fons de vall, rases, zones afeixades...).

Més enllà del sector forestal mateix, l'agricultura ecològica mira també aquestes plantacions amb interès, ja que posa en valor el paper de l'arbrat i el matollar vora cultius com a generadors de biodiversitat i, per tant, de fauna auxiliar per al control de plagues. Paral·lelament, les plantacions d'enriquiment poden ser considerades una mesura de mitigació del canvi climàtic, atès que acceleren la capacitat de fixació de CO_2 del rodal i representen una de les poques oportunitats de plantació per a mitigació en un país amb excedent de superfície arbrada com és el nostre.

L'ACTUACIÓ: Execució de 3 plantacions d'enriquiment a les comarques de la Noguera, l'Anoia i l'Alt Penedès

Execució de 3 plantacions demostratives, fetes en el marc del projecte LIFE CLIMARK, que inclou les plantacions d'enriquiment com a mesura de mitigació-adaptació recomanable en 3 situacions de partida:

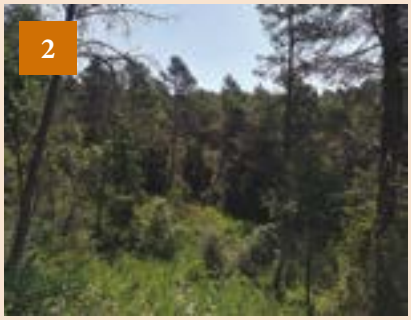
Cas	Finca	Municipi	Núm. IOF
1	Pla de l'Oliva	La Baronia de Rialb	Sense pla
2	Can Sabater de Puigcaní	Sant Joan de Mediona	PTGMF 3622
3	Clos Costela	La Llacuna	PSGF 608

- Rodals afectats per incendis amb regenerat poc dens i/o poc diversificat.
- Masses adultes amb presència de clarianes o claps poc densos, amb micro-estacions de qualitat alta.
- Franges de baixa densitat arbrada al voltant de camps de cultiu ecològic.

3 SITUACIONS DE PARTIDA, 3 OBJECTIUS

Cas 1. Rodal afectat per un incendi l'any 1994; afectació de 1.863 hectàrees a la Baronia de Rialb (Noguera). Bona part d'aquesta superfície està en estat de regeneració defectiva, amb rebrots d'alzina i roure i alguns claps de pinassa.

Objectiu de la plantació: diversificar la roureda monoespecífica i augmentar la resiliència de la massa enfront de noves pertorbacions.



Cas 2. Pineda de pi blanc esclarissada vora un sot amb presència d'espècies de fulloses esporàdiques a Sant Joan de Mediona (Alt Penedès). L'execució d'una tallada intensa va generar obertures i clarianes que s'estan emmatollant i creen una estructura més vulnerable al foc de capçades.

Objectiu de la plantació: diversificar la pineda, tot augmentant-ne la complexitat i biodiversitat, obtenir productes de qualitat i millorar la resistència i resiliència a incendis.

Cas 3. Franja perimetral al voltant d'una vinya ecològica de nova implantació, situada a la Llacuna (Anoia). Es tracta d'antigues feixes poblades per vegetació colonitzadora: arbustos als marges inferiors i pi blanc esclarissat a la vora nord.

Objectiu de la plantació: accelerar, de manera dirigida, la colonització de les feixes, i augmentar la diversitat per millorar la capacitat d'allotjar fauna auxiliar per al control de plagues a la vinya.

	Cas 1. Regenerat incendi	Cas 2. Pineda esclarissada	Cas 3. Franja vora cultiu
Superfície	2 ha	4 ha	1,5 ha
Qualitat d'estació	Mitjana (B)	Alta (A)	Mitjana (B)
Formació	Regenerat de roure (Qh) post-incendi	Pineda de pi blanc d'influència litoral	Matollar + Pineda pi blanc
Altres espècies presents	Pinassa-Servera-Blada	Pinassa-Pinastre-Roure-Pomera-Cirerer	Alzina
Densitat dels peus	**223 peus/ha + (1.273 n.i.)**	**127 peus/ha + (85 n.i.)**	**200 peus/ha***
Àrea basimètrica	**3,9 m²/ha (CD5 i CD10)**	**10,99 m²/ha**	**12 m²/ha***
Alçada mitjana	5,7 m	15,5 m	13 m
Recobriment arbustiu	65%	70%	30%

n.i.: no inventariables (<a 7,5 cm de diàmetre normal) *Dades corresponents als claps arbrats.

Les plantacions d'enriquiment tenen especial interès en rodals d'estructura simplificada, amb claps desarbrats o en fase de regeneració defectiva i amb micro-estacions òptimes segons els requeriments de les espècies a plantar. Respecte de les plantacions a camp obert, tenen el desavantatge de la dificultat de mecanització, però, per contra, es benefecien de micro-climes més favorables per l'efecte tampó de l'arbrat existent, si les espècies plantades són tolerants a l'ombra. Segons Coello *et al.* (2019), per a espècies intolerants, les AB inicials haurien de ser inferiors a 20 m²/ha.

EXECUCIÓ I COSTOS DE LES PLANTACIONS

1. Espècies i densitat

	Cas 1. Regenerat incendi	Cas 2. Pineda esclarissada	Cas 3. Franja vora cultiu
Espècies	**Pinassa** *(Pinus nigra)* + **Servera** *(Sorbus domestica)*	**Servera** *(Sorbus domestica)* + **Noguera** *(Juglans regia)* + **Lledoner** *(Celtis australis)* + **Cirerer** *(Prunus avium)* + **Magraner** *(Punica granatum)* + **Perera** *(Pyrus communis)* + **Moixera** *(Sorbus torminalis)*.	
		Freixe *(Fraxinus angustifolia)* + **Auró** *(Acer campestre)* + **Roure** *(Quercus humilis)*	**Arboç** *(Arbutus unedo)*
Proporció	90% pinassa; 10% servera	Diferents proporcions segons disponibilitat al viver	
Objectiu	Introduir una conífera (adaptada i productiva) i una 3a espècie fullosa de qualitat	Augmentar tant com sigui possible la diversitat d'espècies de fulloses del rodal, incloent espècies de les quals s'espera la producció de fusta de qualitat d'altres de les quals es valora la contribució a la biodiversitat	
Densitat/marc de plantació	Plantació de **200-220 plantes/ha** a escala de rodal, organitzada en **grups més densos** a un marc de plantació de 2x2 m en el 1r cas i de 3x4 m en els altres o en fileres de 3 m aprofitant les clarianes existents o les micro-estacions amb més produnditat de sòl		

La tria d'espècies depèn de l'objectiu de plantació. Generalment són mixtes, encara que hi hagi una espècie principal i d'altres que prenen el rol d'auxiliars. En general, es planta a densitats baixes a escala de rodal (aprox. 200 peus/ha), però la plantació s'organitza en grups més densos (aprox. 1.000 peus/ha) per millorar-ne la conformació (sense necessitat de podes anuals) i controlar el desenvolupament de vegetació competidora. Quan s'usen espècies al límit de la seva distribució, convé situar-les a les micro-estacions més favorables (planes o còncaves i de sòl profund), preferiblement si hi són ja presents de manera natural.

2. Feines de plantació

- **Tractament silvícola previ:** estassada selectiva manual, a les clarianes i obrint línies de plantació.
- **Preparació del terreny i plantació:** clots manuals, tot i que, en el cas 3, en tractar-se de feixes, es van poder mecanitzar parcialment. En el cas 2 (pineda esclarissada), es va poder realitzar un ripatge mecànic previ. La plantació va ser manual.
- **Instal·lació de protectors:** en el cas 1, en tractar-se d'una plantació majoritària de pins, no es va considerar necessari. En els altres casos, amb plantació de fulloses i alta presència de fauna salvatge (cabirols), es van instal·lar protectors individuals a totes les plantes. S'han utilitzat protectors de malla d'1,2 m d'alçada a les clarianes i de 0,6 m a les zones arbrades.

Aspecte general i detall de les 3 plantacions.

3. Costos de la plantació

	Cas 1. Regenerat incendi		Cas 2. Pineda esclarissada		Cas 3. Franja vora cultiu	
Tipus feina/producte	**Unitats/ha**	**Cost (€/unitat)**	**Unitats/ha**	**Cost /€ unitat)**	**Unitats/ha**	**Cost (€/unitat)**
Tractament previ (estassada)	1 jornal	145	2,5 jornals	150	2 jornals	150
Preparació terreny i plantació	5 jornals	140	4 jornals	150	4 jornals	150
Planta	200 pins 20 serv.	Pi: 0,45 Serv.: 1,17	200 plantes	1,55	200 plantes	1,8
Protectors individuals	0	0	200 protect.	1,8	200 protect.	1,8
TOTAL (€/ha) sense IVA	**958,4**		**1.645**		**1.620**	

Els costos de les plantacions en els casos 2 i 3 han estat superiors, atès l'ús de protectors, que representen el 40% dels costos totals. Una alternativa pot ser protegit només les espècies de més valor productiu. El fet que tant la preparació del sòl com la plantació hagin de ser manuals fa que el nombre de jornals sigui alt en relació amb el nombre de plantes.

MANEIG I ACTUACIONS FUTURES

La premissa clau de les plantacions en ambient forestal, entre les quals s'inclouen les plantacions d'enriquiment, és que la intensitat i, per tant, el cost de manteniment sigui mínim (Coello *et al.*, 2017). La gestió es redueix a les **actuacions imprescindibles per garantir-ne la supervivència.**

L'enfocament silvícola que s'aplica és la **silvicultura d'arbre individual**, que comprèn 2 fases: i) la fase de qualificació, on la plantació creix en alta densitat i només caldrien podes puntuals als individus dels quals s'espera la producció de fusta de qualitat, en el cas que l'autopoda no fos suficient; i ii) la fase de dimensionament, que s'iniciaria amb la identificació dels peus de futur, als 15-20 anys, durant la qual es plantejarien les aclarides selectives.

Aquestes plantacions han estat finançades pel projecte LIFE CLIMARK, que té com a objectiu diversificar el finançament de la gestió forestal i posar en valor el seu paper en la mitigació i adaptació dels boscos al canvi climàtic. En conjunt, es preveu que les 3 plantacions fixin en els pròxims 20 anys aproximadament 50 tones de carboni addicionals, i contribueixin, alhora, a millorar la resiliència del conjunt de la massa forestal.

Bibliografia

Martin-Alcón, S.; Ameztegui, A.; Coll, L. (2017). *Plantaciones de enriquecimiento de pinares submediterráneos con frondosas rebrotadoras en un contexto de migración asistida.* Actes SECF. Plasencia. 26-30 juny.

Coello, J.; Beltrán, M.; Piqué, M.; Cervera, T.; Baiges, T. (2017). *Plantacions (forestals i agroforestals) de noguera, cirerer i freixe. Requeriments i models de gestió.* Sèrie: Fitxes tècniques ORGEST. CPF. DARP.

Coello, J.; Serra, S.; Navarro, Sonia. (2019). *Plantacions d'enriquiment de boscos.* A: Tusell, J.M.; Beltrán, M. (Coords.) 2019. XXXVI Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera. CFC. 86 pàgs.

Autoria

Noemí Palero i Teresa Baiges
(CPF)

Agraïments

Simó Serra (Bosquerols, SCCL.) empresa executora de les plantacions a l'Anoia i a l'Alt Penedès. Forestal Catalana, empresa executora de la plantació a la Baronia de Rialb. A la propietat de les 3 finques.

Posant en valor el paper de la gestió forestal en la lluita contra el canvi climàtic:

El projecte LIFE CLIMARK

Teresa Baiges; Teresa Cervera CPF
Iñaki Gili Jáuregui OCCC
Pere Casals CTFC
Giorgio Matteucci CNR-ISAFOM
Cristina Vega UdL

Els mercats voluntaris de carboni i els projectes forestals a Europa

La Unió Europea va crear el 2005 **el mercat regulat de carboni** més gran del món, en el qual estan obligades a participar les instal·lacions més intensives en emissions de carboni, que representen aproximadament la meitat del total d'emissions europees. Aquest mercat té una regulació específica, només unes instal·lacions determinades hi poden participar, i es negocien uns drets d'emissió concrets. En paral·lel a aquest mercat regulat i de participació obligada, hi ha els **mercats voluntaris de carboni**. L'objectiu final també és la transacció de tones de CO_{2eq} aplicant el criteri de reduir una tona de CO_{2eq} allà on sigui econòmicament més rendible. Però aquesta és l'única coincidència, ja que en els mercats voluntaris les empreses compensen les seves emissions més enllà del que pugui obligar la regulació i actuen dins un marc de **responsabilitat social corporativa** (RSC).

Molts dels projectes de compensació dels mercats voluntaris de carboni són forestals, gràcies a la capacitat del sòl i la vegetació dels boscos de captar i mantenir "segrestat "el CO_2 de l'atmosfera. Malgrat això, l'extensió de la superfície forestal i la importància del sector a Europa, es dóna la paradoxa que, tot i que la meitat dels inversos en els mercats voluntaris globals són europeus, només el 2% d'aquestes inversions es queden a Europa.

La tendència sembla que comença a canviar: hi ha un interès més gran dels compradors potencials a invertir en boscos i territori aquí, i apareixen nous mercats voluntaris lligats a marques que faciliten la **transparència i visibilitat d'aquestes transaccions voluntàries**. N'és un exemple el mercat que el Ministeri de la Transició Ecològica francès va posar en funcionament el 2019, sota la marca *"Label Carbon"*, i en el que ja s'han dut a terme les primeres transaccions, entre les quals hi ha la compensació de les emissions de carboni de la darrera trobada del G7 a Biarritz, finançant a una cooperativa forestal basca, o les del *Tour de France* invertint en finques forestals privades del Mont Ventoux.

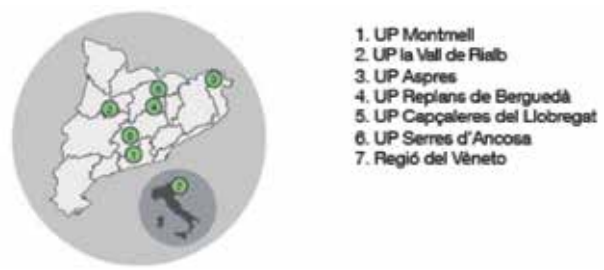


Figura 1. Localització de les 7 Unitats de Paisatge incloses al projecte

La gestió forestal a Catalunya hi té un paper a jugar... més enllà del carboni

S'estima que els boscos catalans segresten al voltant del 10% de les emissions de CO_2 de Catalunya (Banqué *et al.*, 2014) - en consonància amb la mitjana europea - i que la gestió forestal sostenible podria augmentar fins a un 20% aquesta capacitat mitjançant noves plantacions, però sobretot mantenint o recuperant la capacitat de segrest dels boscos ja existents (Nabuurs *et al*, 2017). A aquest 20% d'increment, cal sumar-hi l'efecte de la gestió per a la prevenció d'incendis (en evitar emissions) i el de la substitució de materials i energies fòssils per un material renovable, com la fusta o el suro.

Però, especialment en països mediterranis, no es pot pensar en una gestió forestal només orientada a la mitigació, sinó que cal considerar l'adaptació al canvi climàtic i la conservació de la biodiversitat, tot garantint la seva viabilitat tècnica i econòmica, idees recollides sota el concepte de *"Climate Smart Forestry"*. La idea de promoure una gestió forestal amb un enfocament integrador clima-bioeconomia-biodiversitat es recull també als Acords de París i, més recentment, al Green Deal llançat per la Comissió Europea a finals del 2019.

Fotografia 1. UP 3. Selecció de tanys i estassada selectiva a Aspres. Vector principal: Carboni (fixació, incendis)- Biodiversitat.

L'aposta del projecte LIFE CLIMARK: un mercat voluntari de crèdits climàtics per a finançar actuacions forestals

El projecte LIFE CLIMARK (2017-2021) busca contribuir a l'eficiència i la viabilitat d'una gestió forestal per a l'adaptació i la mitigació del canvi climàtic, oferint-li una via d'entrada als circuits del finançament ambiental.

En concret, es proposa la creació d'un mercat voluntari de crèdits que vagin més enllà dels crèdits de carboni: els **crèdits climàtics**, calculats a partir de l'avaluació de l´impacte que determinades pràctiques forestals tenen sobre 3 factors clau en la mitigació i adaptació al canvi climàtic a la mediterrània: **carboni, aigua i biodiversitat**. Respecte d'altres iniciatives que estan treballant en la mateixa línia a escala europea, el projecte LIFE CLIMARK, aporta 3 innovacions ambicioses:

- El mateix concepte del Crèdit Climàtic, que, més enllà del carboni, permet posar en valor els co-beneficis de la gestió forestal sobre l'aigua i la biodiversitat.
- El requeriment d'una diagnosi prèvia, participada, a escala de paisatge on s'estableixen les prioritats d'actuació en funció de l'impacte esperat.
- La definició d´un llistat ampli de pràctiques forestals, més enllà de les plantacions, basades en la gestió forestal sostenible de masses ja existents, on també s'hi inclouen actuacions per a la prevenció d'incendis.

Quines actuacions de gestió forestal contribueixen a la mitigació/adaptació al canvi climàtic?

La gestió forestal "climàticament intelligent", a més de poder generar fusta o altres productes no fusters, hauria de contribuir especialment a:

- L'increment del carboni fixat en els boscos i productes i la reducció de la probabilitat d´emissions de carboni per incendi (o altra mortalitat).
- L'augment dels recursos hídrics i a la conservació o millora de la qualitat de l'aigua.
- La conservació i millora de la biodiversitat.

És clar que no tots aquests objectius s'han d'aconseguir alhora ni a tot arreu. Per això, s'ha definit un llistat de mesures de gestió forestal i s'ha avaluat el seu impacte sobre cadascun d'aquests objectius, tot aplicant-les en 6 unitats de paisatge (UP, figura 1) representatives de la diversitat de contextos existent a Catalunya. Per a cada UP s'han identificat les mesures més idònies de manera consensuada amb els actors del territori i per a 3 situacions de partida diferents: i) Masses joves provinents de regeneració post-incendi; ii) Masses adultes; i iii) Plantacions (forestals i agroforestals). En total, s´han gestionat, de manera demostrativa, un centenar d'hectàrees en 27 finques privades i s´ha fet el seguiment de 17 rodals més a Catalunya i 2 a Itàlia on s´havien aplicat actuacions similars amb anterioritat, per tal de poder-ne fer l'avaluació ex-post.

En qualsevol cas, la gestió aplicada haurà de garantir un component d'**addicionalitat** respecte a la situació actual i, per tal d'augmentar la seva efectivitat, haurà de ser **coherent amb una planificació prèvia a escala de paisatge** que fixi prioritats d'actuació sota el nou criteri de mitigació/adaptació.

Fotografia 2. UP5. Recuperació del mosaic agroforestal en feixes a les Capçaleres del Llobregat. Vector principal: Aigua (provisió) – Biodiversitat.

Com es mesura l'impacte de les actuacions forestals sobre la mitigació i adaptació del canvi climàtic?

L´impacte de les actuacions se sol estimar *ex-ante* a partir de models i índexs i es preveu una mesura *ex-post*, sobre el terreny, passat un mínim de 5 anys. Una de les primeres aportacions del projecte LIFE CLIMARK ha estat precisament la identificació dels indicadors a utilitzar, representatius i fàcilment mesurables amb metodologies disponibles o desenvolupades al projecte, conjuntament pel CPF i els socis científics (UdL, CTFC, i l'italià CNR-ISAFOM). Aquesta feina és d'utilitat per a qualsevol altra iniciativa que vulgui posar en valor els beneficis de la gestió forestal sobre els serveis ecosistèmics considerats.

També s´estan duent a terme mesures in-situ sobre el terreny per poder-les comparar amb les estimacions obtingudes, amb la col·laboració d'entitats especialitzades com ara l'ACA o el CSIC-IDAEA. Tota aquesta informació s'integrarà en una "calculadora" que facilitarà la mesura de l´impacte d´una actuació determinada a partir de paràmetres usats habitualment en els inventaris forestals.

Fotografia 3. UP2. Aclarida selectiva en un bosc de pinassa adulta a la Vall de Rialb. Vector principal: Carboni (fixació, productes, incendis) – Aigua – Biodiversitat

Hi ha demanda de les empreses per invertir en boscos a Catalunya?

L'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC), amb la col·laboració de l'ARCA i experts de l'àmbit de la RSC, ha explorat la voluntat de participació de diferents tipologies d´empresa al nou mercat. A grans trets, les empreses consultades han valorat molt positivament la visió de territori i el concepte integrador del crèdit i en cap cas consideren que invertir en natura al mediterrani o en propietat privada sigui un risc que pugui desmotivar la inversió. En el disseny del crèdit es preveuen incentius que facilitin la inversió, com ara la pròpia compensació de la petjada de carboni o hídrica o oferir beneficis en comunicació i màrqueting (p.e. amb l'ús d'una marca reconeguda).

Fotografia 4. UP6. Plantació d'enriquiment a les Serres d'Ancosa. Vector principal: Carboni (fixació) – Biodiversitat

Perspectives a curt termini: disseny del mercat de crèdits climàtics i primeres proves pilot

Durant el primer semestre de l´any, l'OCCC en el desenvolupament del propi crèdit climàtic i el seu mercat: les regles de comptabilitat, el sistema de compra-venda i els criteris de verificació. També s'explorarà les possibilitats d´integrar-lo al Programa voluntari de compensació d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de l'OCCC, a Catalunya i al mercat de carboni CARBOMARK, al Veneto, a Itàlia.

Per part del CPF, es treballarà en el format dels nous projectes forestals de mitigació/adaptació, en consensuar els nous criteris i cartografia a utilitzar en la diagnosi a escala de paisatge, i en el desenvolupament de l'eina que ha de facilitar el càlcul de l'impacte de les actuacions sobre els indicadors definits.

Durant aquest any 2020 també es realitzaran les 2 primeres proves pilot de transacció de crèdits climàtics en finques forestals privades, involucrant empreses que vulguin invertir en gestió forestal en el marc de la seva RSC. En funció dels resultats d'aquestes proves, es valorarà la posada en funcionament del nou mercat a partir de l´any 2021, amb caràcter experimental. ●

Referències

Banqué M., Garcia D., Martínez-Vilalta J., Molowny R., Retana J., Vayreda J. 2014. *C-Bosc: Projeccions dels estocs i de la capacitat d'embornal de carboni a Catalunya fins al 2050.* CREAF

Nabuurs, G.J.; Delacote, P.; Ellison, D.; Hanewinkel, M.; Hetemäki, L.; Lindner, M. 2017. *By 2050 the Mitigation Effects of EU Forests Could Nearly Double through Climate Smart Forestry.* Forests, 8, 484

Per a més informació podeu consultar la web www.lifeclimark.eu i seguir-nos a través del twitter (@lifeclimark)

LIFE CLIMARK (LIFE16 CCM/ES/000065) és un projecte co-finançat pel Programa LIFE-Mitigació del Canvi Climàtic, de la UE.

Progetto LIFE CLIMARK: non solo carbonio

Un Life per sviluppare il mercato locale dei crediti climatici

di E. D'Andrea, G. Matteucci, T. Cervera Zaragoza, T. Baiges Zapater, P. Casals, M. C. Vega Garcia, E. Blanco Villar, I. Gili Jauregui

Il Progetto LIFE CLIMARK è volto alla promozione della gestione forestale sostenibile come strumento per la mitigazione dei cambiamenti climatici, attraverso l'ideazione di un mercato locale di crediti climatici, un nuovo concetto che va oltre il solo assorbimento di CO_2.

Per ridurre gli effetti dei cambiamenti climatici in atto è necessario ridurre le emissioni da fonti fossili e potenziare i processi mitigativi naturali, come l'assorbimento di CO_2 dall'atmosfera ad opera degli alberi e la conservazione dei depositi di carbonio, come i suoli forestali.

Le foreste ed il settore forestale hanno un ruolo fondamentale nella mitigazione dei cambiamenti climatici. Nell'Unione Europea (UE), l'effetto mitigativo ammonta a 569 Mt CO_2 all'anno, pari al 13% delle emissioni di gas serra dell'UE, come conseguenza della fissazione di CO_2 nelle foreste e nei prodotti legnosi (Nabuurs *et al.* 2018).

Parole chiave
Gestione forestale multifunzionale, mitigazione dei cambiamenti climatici, mercato volontario dei crediti di carbonio, credito climatico, biodiversità, ciclo dell'acqua.

Le foreste svolgono una doppia azione per il controllo del clima: uno diretto attraverso l'assorbimento di CO_2 dall'atmosfera e uno indiretto attraverso la sostituzione di combustibili fossili e di materiali ad alto impatto energetico o di emissioni.

Compensare le emissioni di CO_2 significa bilanciare la quantità di CO_2 generata da una qualsiasi attività attraverso interventi in grado di assorbirla o mettendo in atto azioni per evitare di emetterla. Questi progetti, opportunamente realizzati e certificati, generano crediti di carbonio che possono essere utilizzati nel mercato volontario. Chi vuole compensare le emissioni, può acquistare questi crediti e in tal modo co-finanziare gli interventi con la garanzia che ogni credito acquistato corrisponda a una tonnellata di CO_2eq assorbita o evitata.

Tra i mezzi per la generazione dei crediti ci sono i progetti di gestione forestale (afforestazione, riforestazione, selvicoltura) che creano un sequestro "addizionale" di carbonio rispetto alle pratiche di gestione agro-forestali correnti.

Credito Climatico: non solamente carbonio

Le foreste, oltre alla funzione mitigativa dei cambiamenti climatici, erogano altri servizi ecosistemici fondamentali, quali la conservazione della biodiversità, la tutela del ciclo delle acque e il contrasto al dissesto idrogeologico.

La **conservazione e la tutela della biodiversità** rimangono obiettivi fondamentali per la gestione sostenibile e multifunzionale delle foreste europee. Infatti, la biodiversità, oltre ad

essere un valore diretto, è anche considerata cruciale per l'adattabilità e la stabilità delle foreste. La sua riconosciuta funzionalità ha causato un aumento del 65% delle aree destinate alla sua conservazione negli ultimi 20 anni (Forest Europe 2020).

Le foreste hanno un ruolo fondamentale nel **ciclo dell'acqua,** sia a scala globale che locale, e nel **contrasto agli eventi di dissesto idrogeologico.** La necessità di una visione integrata acqua-bosco diventa imprescindibile anche alla luce dei rapidi cambiamenti innescati a livello planetario dall'attività antropica. L'approvvigionamento idrico può essere garantito solamente assicurando l'utilizzazione sostenibile degli ecosistemi quali le foreste, che captano l'acqua, la filtrano, la immagazzinano ed infine la ridistribuiscono.

Su queste basi, un partenariato internazionale, coordinato dal Centre de la Propietat Forestal della Generalità della Catalogna, ha presentato il progetto LIFE CLIMARK (LIFE16 CCM/ES/000065), cofinanziato dal Programma LIFE dell'Unione Europea, nel settore Mitigazione dei Cambiamenti Climatici (*https://lifeclimark.eu/*). Il progetto propone il "credito climatico" **calcolato non solo sull'addizionalità nella capacità di assorbire carbonio da parte delle foreste gestite, ma anche su quella di conservare la biodiversità e tutelare il ciclo dell'acqua.** Quindi, con il credito climatico non solo si compensa l'emissione di CO_2, ma si valorizza la conservazione della biodiversità e la tutela del ciclo dell'acqua.

Anche in questo caso il credito si genera in riferimento ad una gestione tradizionale, attraverso accorgimenti specifici che, ad esempio, forniscano habitat ideali per gli animali, aumentino la quantità di legno morto, riducano i rischi da incendi forestali.

I crediti climatici sono concepiti attraverso un approccio olistico alla gestione forestale, in linea con il concetto "climat smart forestry" della FAO, che si pone come obiettivo di applicare soluzioni per capitalizzare le sinergie di mitigazione e adattamento, tenendo conto delle caratteristiche territoriali per identificare le opzioni di gestione più convenienti.

Obiettivi del progetto

Il progetto LIFE CLIMARK ha l'obiettivo di aumentare la capacità delle foreste di mitigare i cambiamenti climatici, promuovendone la gestione multifunzionale attraverso la creazione di un mercato dei crediti climatici (Box 1).

Gli obiettivi specifici del progetto sono:

- comprendere come mantenere e migliorare la capacità di mitigazione delle foreste;
- progettare un mercato locale dei "crediti climatici" come strumento per incoraggiare una gestione forestale multifunzionale Figura 1;
- sensibilizzare e fornire strumenti a tutti gli attori interessati alla compensazione delle emissioni attraverso i "crediti climatici".

BOX 1 - CREDITO CLIMATICO CLIMARK

In base all'approccio di LIFE CLIMARK, i crediti climatici per poter essere inseriti in un mercato devono essere generati da un'attività forestale inserita in un PROMACC, cioè un PROgetto forestale che punta alla Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici. I proprietari, pubblici o privati, devono quindi presentare un progetto nel quale siano inserite tutte le azioni forestali da eseguire in un determinato territorio per un periodo massimo di 3 anni, nonché il calcolo dei crediti climatici generati da queste azioni, che poi saranno messi a disposizione delle imprese/acquirenti nel nuovo mercato.

A seconda delle azioni pianificate in ogni PROMACC, la proporzione tra i tre servizi ecosistemici (clima e carbonio, acqua, biodiversità) che verranno generati sarà diversa.

Pertanto, contestualmente alla definizione dell'unità di misura del credito climatico, è stato necessario trovare il modo di soppesare i tre diversi servizi ecosistemici, cercando di trovare una "equivalenza" che fosse rappresentativa di quante più situazioni possibili. Al momento, il progetto LIFE CLIMARK, che terminerà nell'autunno 2022, sta proprio lavorando per la definizione numerica di questa equivalenza anche con il coinvolgimento di economisti ambientali.

Come primo *step*, è stato analizzato l'impatto su: bilancio del carbonio, ciclo dell'acqua e biodiversità di diversi trattamenti forestali realizzati e monitorati durante il progetto per definire dei "PROMACC tipo". Questi sono stati utilizzati per il calcolo del costo marginale, di fornitura e del beneficio sociale legato a ciascuno dei tre servizi, calcolati in modo indipendente.

Alla fine, l'equivalenza dovrà stabilire quanto vale un credito climatico in euro, in funzione delle tCO_2 assorbite, dei m^3 di acqua risparmiata e dei punti di Indice di Biodiversità Potenziale[1] generati e ogni PROMACC indicherà il numero di crediti climatici generati per ettaro.

1) Indice di biodiversità potenziale: rappresentazione della biodiversità potenziale di una formazione boschiva e consiste in 10 indicatori, dei quali 7 dipendono direttamente dalla gestione del bosco e 3 interessano invece il contesto dell'area analizzata (Larrieu e Gonin 2008).

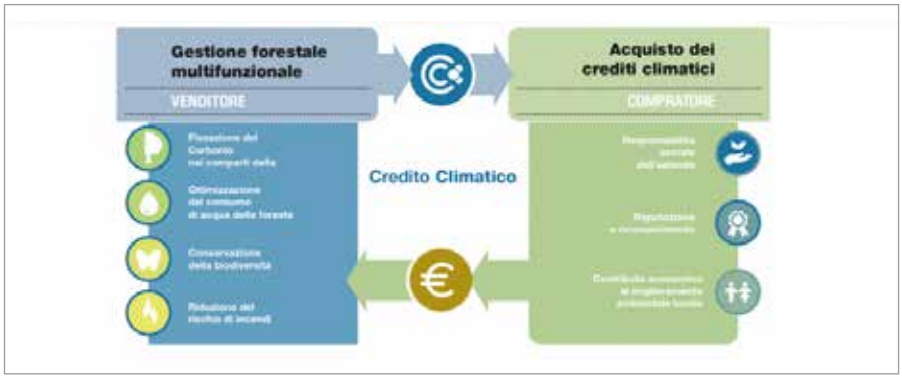


Figura 1 - Il sistema proposto da LIFE CLIMARK consiste nel fatto che un'impresa acquista "x" crediti climatici con i quali paga parzialmente o integralmente un progetto forestale. Il marchio "Credito climatico" alle aziende/aquirenti garantisce sicurezza, visibilità e trasparenza; per i gestori/venditori è un'opzione di diversificazione delle entrate che evidenzia i benefici della gestione forestale alla società.

Dove opera il progetto

Le attività del progetto e i relativi interventi di gestione si sono svolti in sei unità di paesaggio rappresentative del territorio catalano. I siti variano dalle sugherete costiere fino alle formazioni a pino silvestre dell'area pre-pirenaica. Inoltre, il progetto ha attività di replicazione in Italia, dove in due siti sono state effettuate misure per la valutazione degli effetti su: capacità di assorbimento di CO_2, tutela della biodiversità ed efficienza di uso dell'acqua di diverse opzioni gestionali multifunzionali, già realizzate dal progetto LIFE ManFor.C.BD. in Cansiglio e a Lorenzago di Cadore (BL).

Come opera il progetto

Nell'ambito del progetto, sono state individuate 4 azioni di riferimento per aumentare la capacità di mitigazione, di conservazione della biodiversità e tutela del ciclo dell'acqua.

- **Gestione forestale durante la fase di rigenerazione *post* incendio** - Quest'azione è fondamentale per massimizzare la produttività futura dei boschi incendiati, promuovendo una maggiore resistenza di fronte a nuovi incendi e a

episodi di siccità. Le azioni si concentrano, in particolare, sulla strutturazione del bosco al fine di garantirne e migliorarne la futura crescita. Nell'ambito del progetto, questa tipologia d'interventi ha interessato in Catalogna una superficie di 28,3 ha e diverse specie, quali pino d'Aleppo, pino nero, pino silvestre, leccio, sughera e quercia lusitana.

- **Gestione delle foreste mature** - Lo scopo di quest'azione è quella di promuovere la gestione sostenibile multifunzionale di boschi maturi. In ogni situazione in cui è stata applicata, l'opzione gestionale ha mirato a stimolare la crescita, con un conseguente maggior assorbimento di CO_2 dall'atmosfera, cercando di migliorare l'efficienza di uso idrico delle piante, per garantire una maggiore resilienza ai cambiamenti climatici. Inoltre, il rilascio di alberi di grandi dimensioni e con microhabitat e la creazione di necromassa sono stati promossi al fine di conservare ed incrementare la biodiversità delle aree di intervento (questo è anche il tipo di intervento effettuato dal progetto ManFor C.BD., che è stato valutato dopo 8-10 anni). Nelle unità di paesaggio in cui è alto il rischio di incendi sono stati effettuati interventi per creare discontinuità, sia verticale sia orizzontale del combustibile potenziale. Gli interventi CLIMARK sono stati realizzati in Catalogna su un totale di 39,3 ha distribuiti su boschi maturi di pino nero, pino silvestre, pino d'Aleppo e sughera.
- **Piantagioni forestali e agroforestali** - Il risultato immediato degli imboschimenti è l'aumento dell'area forestale, rendendola quindi la pratica gestionale di mitigazione più utilizzata al mondo. All'interno del progetto LIFE CLIMARK questa azione prevede che alle piantagioni forestali ed agroforestali sia garantita la sostenibilità ambientale e socioeconomica, in base alle specificità territoriali. Queste idee si sono tradotte, ad esempio, in impianti di pino domestico che, oltre ad assorbire CO_2, assicurano una produzione costante di pinoli, fornendo ulteriori introiti ai proprietari forestali. Un altro caso esemplificativo è rappresentato dall'utilizzo di piante micorrizate per la produzione di tartufi. Nell'ambito del progetto CLIMARK, sono stati realizzati 7 progetti agroforestali per un totale di 25 ha.
- **Strategie di prevenzione degli incendi boschivi** - La maggior parte delle aree di studio selezionate in Catalogna si trova in zone con forte incidenza di incendi boschivi. Questi fenomeni sono stati riconosciuti come una delle principali cause di perdita di capacità di mitigazione delle foreste, di emissione di CO_2 in atmosfera, di perdita di biodiversità e di degrado del suolo. Nell'ambito del progetto, si sta sviluppando un modello di propagazione degli incendi che permetta di valutare la probabilità di innesco, l'intensità del fuoco e di quantificare le perdite potenziali di carbonio negli ecosistemi.

Considerazioni conclusive

Il Progetto LIFE CLIMARK propone un mercato locale e volontario di crediti climatici (concetto che va oltre il solo assorbimento di CO_2) che metta in contatto i promotori (la proprietà forestale di boschi) e gli acquirenti (aziende impegnate nel territorio che hanno bisogno di compensare le loro emissioni) al fine di **generare un'attività economica che consenta la redditività dei boschi attraverso una gestione forestale multifunzionale e mitigatrice.**

Inoltre, le 4 azioni di gestione forestale realizzate nell'ambito del progetto costituiscono un importante riferimento per i progetti di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici (PROMACC), che saranno presentati all'interno del mercato. Anche se, relativamente alla tempistica del progetto, il valore dei crediti climatici è ancora in una fase di definizione e i progetti pilota in fase di attuazione, l'obiettivo finale è quello di realizzare un mercato solido, trasparente, non escludente e supervisionato da una terza parte indipendente.

BIBLIOGRAFIA

Arrieu 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. Fr. 06-2008, p. 727-748 https://bit.ly/3EEJNYO

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. Fr. 06: p. 727-748 https://bit.ly/3EEJNYO

Nabuurs G., Verkerk P.J., Schelhaas M., Ramón J., Olabarria G., Trasobares A., Cienciala E., 2018 - **Climate-Smart Forestry: mitigation impacts in three European regions.** From Scien. ed. European Forest Institute.

INFO AUTORI

Ettore D'Andrea, CNR- ISAFOM, Portici (NA). E-mail: ettore.dandrea@isafom.cnr.it
Giorgio Matteucci, CNR - IBE, Sesto Fiorentino (FI).
E-mail: giorgio.matteucci@cnr.it
Teresa Cervera Zaragoza, Centre de la Propietat Forestal.
Teresa Baiges Zapater, Centre de la Propietat Forestal.
Pere Casals, Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.
Maria Cristina Vega Garcia, Universitat de Lleida - ETSEAL.
Elena Blanco Villar, Oficina Catalana del Canvi Climatic.
Iñaki Gili Jauregui, Oficina Catalana del Canvi Climatic.

MAGGIORI INFORMAZIONI:

Website: https://lifeclimark.eu/
Tweeter: @lifeclimark
Facebook: Life CLIMARK

Teresa Cervera Zaragoza. Doctora Enginyera de forests. Centre de la Propietat Forestal.
Andreu Manzano Rojas. Enginyer de Camins, Canals i Ports. Agència Catalana de l'Aigua.
Noemí Palero Moreno. Enginyera de forests. Centre de la Propietat Forestal

Cervera, T., Manzano, A., Palero, N. 2022. Impacte de la gestió de les pinedes de pi blanc en els serveis ecosistèmics: carboni, aigua i biodiversitat. Experiències de monitoratge del balanç d'aigua de dues "conques bessones" a la Llacuna. A: Tusell, JM., Beltrán, M., Cases, G. (eds.). XXXIX Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera. Pp: 48-57.

Resum_ La gestió forestal multifuncional esdevé important a l'hora de contribuir en la mitigació i adaptació dels boscos al canvi climàtic. El boscos i la gestió forestal ofereixen importants serveis ecosistèmics, la provisió de fusta i aigua, la regulació del clima i la biodiversitat. L'impacte de la gestió en aquests serveis pot ser molt diferent atenent al tipus de formació, estructura, model i itinerari forestal a seguir. En aquest article analitzem l'impacte de la gestió en una pineda de pi blanc en el balanç de carboni i de l'aigua i la biodiversitat a través d'una metodologia establerta en el projecte LIFE CLIMARK, en la que es compara els efectes dels tractament silvícoles respecte la no gestió. L'impacte en el balanç d'aigua es completa amb el seguiment de dues conques bessones amb la instal·lació de sensors des del 2019, en un període marcat per una pluviometria mitjana inferior als darrers anys. Malgrat la dificultat d'establir i quantificar l'impacte a partir de les diferents metodologies definides, els resultats ens mostren valors positius en els serveis de provisió i regulació de clima tot mantenint la capacitat d'acollida de la biodiversitat, la qual es preveu augmentar a mitjà termini.

Introducció

La gran expansió forestal de la segona meitat del segle passat ha contribuït al segrest de diòxid de carboni atmosfèric, que ha quedat fixat en forma de carboni als arbres i als sòls forestals. Avui, però, el paper dels boscos en la mitigació del canvi climàtic està en risc: el ritme de segrest de CO_2 ha disminuït un 17% els darrers 25 anys i l'increment de la freqüència i la intensitat de les pertorbacions amenacen els estocs acumulats. Com a conseqüència del canvi global, la salut dels boscos ha disminuït, ha augmentat el risc d'incendis i ha afectat la provisió de serveis bàsics com l'aigua, amb una reducció del 30% del cabal dels rius en 25 anys (informe *FOREStime*, Banqué *et al.*, 2020). La biodiversitat també s'ha vist afectada per l'expansió del bosc, especialment la biodiversitat lligada a matollars i espais oberts (informe Estat de la Natura a Catalunya 2020, Brotons *et al.*, 2020).

La gestió forestal multifuncional esdevé important a l'hora de contribuir en la mitigació dels impactes del canvi climàtic i és clau per a l'adaptació dels nostres paisatges. Més enllà de l'obtenció de productes, en molts casos gestionar un bosc és necessari per prevenir incendis catastròfics o per augmentar la resistència de les masses forestals a l'estrès hídric. Una gestió que integra diferents objectius pot potenciar els anomenats serveis forestals ecosistèmics (SFE) com ara la fixació de carboni, el proveïment d'aigua de qualitat i la millora de la capacitat d'acollida de la biodiversitat.

Per posar en valor aquests SFE ens cal quantificar l'impacte de cada model i itinerari silvícola que s'aplica a cada massa, en funció de la seva formació, qualitat d'estació i objectiu preferent, segons les condicions ambientals en les que es troba. En aquest sentit i en el marc del projecte LIFE CLIMARK s'ha elaborat una metodologia per calcular l'impacte de la gestió forestal multifuncional en tres factors clau de la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic a la Mediterrània: el carboni, l'aigua i la biodiversitat. L'impacte de la gestió en el balanç de carboni s'ha obtingut per a les principals coníferes de Catalunya (pi blanc, pi roig i pinassa), i per a l'alzina en el cas de les frondoses. L'impacte de la gestió sobre els recursos hídrics (aigua blava) incorpora els càlculs per al conjunt de formacions igual que la integració de la biodiversitat, que es comptabilitza per a tot tipus de gestió i formació forestal (document en edició). Per altra banda, l'aplicació pràctica d'aquesta metodologia en els rodals on s'implementa una gestió seguint els models de referència establerts en les Orientacions de gestió forestal sostenible de Catalunya (ORGEST), esdevé molt important per consolidar el treball iniciat.

Pel que fa a la quantificació de l'impacte en els recursos hídrics, existeixen nombroses experiències on s'han observat els efectes de les actuacions forestals sobre el balanç d'aigua a nivell de rodal i del guany en la humitat dels sòls, però les experiències que van més enllà són escasses o difícils d'interpretar fora del seu context. Són pocs els projectes que busquen observar també com aquests increments d'humitat poden arribar a excedir les capacitats de camp dels sòls i, en materials saturats, arribar a generar recàrrega d'aigües subterrànies, cap a posteriors surgències i drenatges a través de fonts (escorrentiu subterrani), o fins i tot produir escorrentiu superficial directe en els casos d'actuacions més intenses. Les estimacions a partir de models teòrics i simulacions numèriques, relativament nombroses, també apunten en aquest sentit (Zhang *et al.*, 2001; Sabaté, 2009; Banqué *et al.*, 2020), però les incerteses encara són grans per acotar correctament la magnitud d'aquests fenòmens, especialment a escales hidrològiques.

Per ajustar aquestes avaluacions, el coneixement de camp pot oferir un doble objectiu; d'una banda constatar evidències dels comportaments previstos, i d'una altra, si davant experiències de petita entitat o escala no és possible arribar a detectar els efectes, al menys aquest coneixement de camp pot aportar nova informació per al test i millora dels models de simulació, que també s'han considerat en aquests treballs. En el marc del projecte LIFE CLIMARK s'ha efectuat un monitoratge en dues zones de Catalunya, a Vallcebre (amb investigadors de l'Institut de Diagnosi Ambiental i Estudis de l'Aigua (IDAEA-CSIC) i a la Llacuna (efectuat per l'Agència Catalana de l'Aigua), analitzant l'efecte de la gestió en els cabals d'aigua, i d'on s'espera obtenir resultats a mitjà termini.

Objectius i àmbit

L'objectiu de l'estudi és quantificar i valorar l'impacte de la gestió forestal en una pineda de pi blanc en tres serveis ecosistèmics: el carboni, l'aigua i la biodiversitat, i de forma més específica en el balanç d'aigua, a partir d'un monitoratge in situ en una forest de propietat privada (Can Marimon) ubicada a la Llacuna (Anoia), cercant evidències de l'impacte de la gestió a partir de models de referència ORGEST.

La zona seleccionada constitueix un estrep relativament suau de les Serres i la Plana d'Ancosa, amb una altitud compresa entre els 650 i 750 m, dominat fonamentalment per pinedes, bosquines i matollar. A les parts altes, pertanyents al PEIN i Xarxa Natura 2000 del Sistema prelitoral central, la densitat de la vegetació és molt alta, en tant que s'insinuen algunes antigues terrasses a les parts més baixes, on s'alternen també petits afloraments calcaris o dolomítics i camps de secà a la plana final que envolta el mas i altres veïns. La zona on s'ha actuat presenta vessants de pendents mitjans-forts, encara sense cap curs d'aigua definit, ni tan sols de caràcter temporal o efímer.

A escala local, en la geologia de superfície s'intueix el contacte entre estrats permeable i impermeable que hauria afavorit l'aparició de modestes però nombroses fonts (Marimon, Cal Rubí, les Clotes, les Granotes). Moltes d'aquestes, però, haurien perdut el seu ús al llarg de les darreres dècades i algunes d'elles fins i tot van arribar a desaparèixer fruit de l'abandonament i els efectes de l'aforestació. A escales i profunditats majors, la hidrogeologia regional situa l'àmbit en una de les principals zones de recàrrega del gran aqüífer Carme-Capellades, que els darrers anys està patint una marcada tendència a la reducció dels seus nivells.

A la zona es compta amb les dades climàtiques d'una estació del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), però no es disposa de cap altra informació hidrològica prèvia. Per aquest motiu es va optar per definir dues àrees o petites conques "bessones", de característiques hidroforestals similars (pendents, densitats i tipus d'arbres i sotabosc, sòls), de manera que en actuar sobre una d'elles es busquessin les diferències de comportament respecte la zona veïna preservada, de referència o control. Amb àrees de contribució, respectivament, força similars a les fonts de Marimon i de les Clotes (si més no del mateix ordre de magnitud a nivell superficial). Tant a les zones de contribució de les fonts de Marimon com de les Clotes (a les parts compreses dins dels àmbits del projecte) les superfícies o cobertes forestals inicials representarien aproximadament un 64 i 58% del total, respectivament (Taula 1).

La caracterització de l'àmbit es completa amb la descripció bàsica dels sòls, elaborada pel Centre de Ciència i Tecnologia Forestal (CTFC), que es pot resumir en: profunditats mitjanes d'uns 80 cm, compreses entre mínims de 40 cm a més de 100 cm; densitats de 1,15 a 1,50 t/m^3; textura 51/30/19 (%sorres/llims/argiles) força uniforme, amb matriu rocosa del 18 al 25 % i uns 132 mm d'aigua extraïble (assimilable a la capacitat

Taula 1. Característiques generals dels àmbits de les conques "bessones".

	TOTAL (aproximació de divisòria superficial)		CONDICIONS INICIALS		CONDICIONS POST GESTIÓ		
	Conca de les fonts (ha)	Dins l'àmbit del projecte (ha)	Bosc no gestionat (ha)	Camps o espais oberts (ha)	Bosc no gestionat (ha)	Bosc gestionat (ha)	Camps o espais oberts (ha)
Font de Marimon GESTIÓ	21,0	12,5	8,1	4,4	3,7	4,4	4,4
Font de les Clotes CONTROL	28,8	7,2	4,2	3,0	4,2	---	3,0

de camp (FC) o bé com la seva diferència respecte el punt de marciment (WP)).

Característiques del bosc gestionat i tractament silvícola

El rodal gestionat de la conca Font de Marimon està dividit en quatre estrats (E1-E4). Hi predomina la pineda de pi blanc en un 53%, el bosc de pinassa en un 18%, i el bosc mixt de pi blanc i pinassa en un 29%. Altres espècies com l'alzina i l'auró també hi són presents en menor proporció. L'àrea basal (AB) del rodal segons estrat es troba entre els 27-37 m^2/ha, la vulnerabilitat als incendis de capçada és baixa i l'Índex de biodiversitat potencial (IBP) és del 54%.

Els models de referència ORGEST escollits per a la gestió del rodal han estat el Ph01 i el Pn06, segons formació, qualitat d'estació i risc d'incendi de la zona. L'itinerari escollit ha estat en totes les zones format per una aclarida baixa i una estassada selectiva (Figura 1). No ha estat necessari cap tractament de millora de l'estructura a la vulnerabilitat al foc. Pel que fa a la capacitat d'acollida de la biodiversitat, els esforços s'han centrat en la retenció dels elements més singulars. L'estat inicial i final del tractament de cada estrat s'observa a la Taula 2.

Amb la gestió desenvolupada l'hivern de 2018-2019, es van extreure unes 160 tones de fusta, i s'estima que el bosc gestionat va reduir la seva massa forestal en gairebé el 50%, amb una reducció del 35-43% de l'AB en l'aclarida baixa i del 41-54% dels arbres. Una reducció proporcional en termes d'ocupació i coberta equivaldria a considerar que la nova coberta forestal va passar a suposar de l'ordre del 48%, respecte el 64% inicial. L'avaluació a nivell de tota la conca de la font (respecte 21 ha, enlloc de 12,5 ha) suposaria una reducció del 10% de la superfície forestal. Aquestes dades també es poden contrastar amb les obtingudes per mètodes més directes per part del CTFC, a partir de l'obertura de capçades determinada amb fotografies hemisfèriques o d'avaluacions dels índexs foliars tipus LAI. En concret, entre les situacions prèvia i gestionada s'han constatat increments del 7 al 10% en l'obertura de les capçades i reduccions de LAI del 33 al 45% respecte la situació inicial.

Taula 2. Valors de la massa abans i després de cada tractament per cada estrat del rodal.

Estrat	Tipologia forestal	Ni (peus/ha)	ABi (m^2/ha)	Vi (m^3/ha)	Nf (peus/ha)	ABf (m^2/ha)	Vf (m^3/ha)
E1	Pn-B	1250	37,14	242,73	573	21,35	127,46
E2	Ph-A	700	27,25	178,89	414	17,81	105,00
E3	Ph_Pn-AB	541	29,38	205,62	286	19,10	122,23
E4	Ph-A	828	36,37	267,00	382	22,23	142,00

N= densitat arbòria; AB= àrea basal, V= volum; i=inicial; f=final

Figura 1. Estrat de massa mixta de pi blanc i pinassa abans (dalt) i després (baix) de l'actuació.

A partir d'aquest tractament i utilitzant la Metodologia de l'impacte de la gestió en el carboni, aigua i biodiversitat (Cervera, T; Baiges, T; Rabascall, X; *et al.* 2022) s'ha procedit a calcular els valors de l'impacte tot comparant aquest gestió amb la No gestió pels propers 15 anys, segons les diferents càpsules que s'estableixen en la pròpia metodologia: carboni fixat, emès i evitat, aigua blava alliberada segons formació i AB inicial i final, i percentatge de millora de la capacitat d'acollida de la biodiversitat segons estat inicial i post-tractament.

Per altra banda, a partir de la instal·lació de diferents sensors, en la conca gestionada i en la no gestionada, s'ha procedit a fer el seguiment real de l'impacte en el balanç d'aigua des del 2019.

Sensorització instal·lada

Una vegada determinades les conques o parcelles bessones candidates, es va decidir l'execució de dos punts de seguiment de l'aigua subterrània a cada zona, gestionada i control, per tenir major probabilitat d'èxit a l'hora de trobar els nivells freàtics o saturats. Les 4 perforacions, de diàmetre 100 mm i entubades amb PVC i 50 mm mínim d'interior, es realitzarien fins a profunditats compreses entre els 7 i els 15 m, a través de la formació geològica denominada "Keuper", formada essencialment per materials consolidats de margues i calcàries margoses, amb intercalacions de guixos i trams més dolomítics (Figura 2). Els sensors escollits, d'alta precisió (mínim 0,05% del fons d'escala) i amb correcció atmosfèrica o baromètrica, permeten l'obtenció de dades de temperatura i nivell d'aigua en intervals quinzeminutals, si bé, per les necessitats observades i per allargar la durabilitat de les bateries de liti, es va reprogramar la seva freqüència a horària. L'obtenció de dades és de descàrrega "in situ", mitjançant USB i un programari específic.

Figura 2. Treballs d'instal·lació dels sensors. A dalt: execució dels sondejos per a la instal·lació dels sensors piezomètrics. A baix: Font de Marimon després d'instal·lar l'estructura d'aforador triangular on registra un sensor de pressió.

És interessant observar, a la Figura 3, l'efecte de divisòria també subterrània del límit entre les parcel·les gestionades i de referència, així com la significativa diferència entre els nivells freàtics d'una i altra zona, separats per uns 15 metres en vertical. Els sondejos secs a P2 i P3, més centrals respecte el conjunt i que no han registrat aigua en cap moment, també podrien apuntar a l'existència d'aquesta divisòria, amb possibles drenatges divergents, envers la direcció de les fonts característiques de cada subàmbit.

Transposar els eventuals efectes sobre els nivells freàtics en termes de canvis (quantificables) en l'aigua blava, resultaria molt complex si no fos amb el recolzament en simulacions numèriques que incloguessin també altres variables i mitjançant elles fos possible reinterpretar aquestes magnituds. Per aquest motiu, es va valorar també el seguiment d'alguna surgència o font, que, tot i la seva modèstia i probable menor representativitat, fes possible una avaluació més directa dels canvis. Havent retrobat l'antiga font de Marimon, abandonada i envaïda per la vegetació, es va optar per la creació d'un aforador triangular al seu vas i la instal·lació d'un sensor de nivell per a estimar directament valors de cabal (Figura 2). Per diferents dificultats i deficiències en la seva instal·lació, aquest registre continu i la seva interpretació en termes de cabals no s'ha pogut considerar fiable en bona part del rang de valors, però sí és una ajuda en la valoració de polsos de cabals associats a episodis de pluja.

Les visites de camp periòdiques, que també han inclòs l'aforament manual de la font de les Clotes, representativa de les zones no gestionades, completen i validen la informació dels registres continus. Per exemple, en el cas del seguiment puntual de les fonts s'han pogut caracteritzar bé els seus períodes i paràmetres de recessió o esgotament, confirmant amb ells, a priori, una homogeneïtat suficient en el comportament hidrològic entre un i altre àmbits.

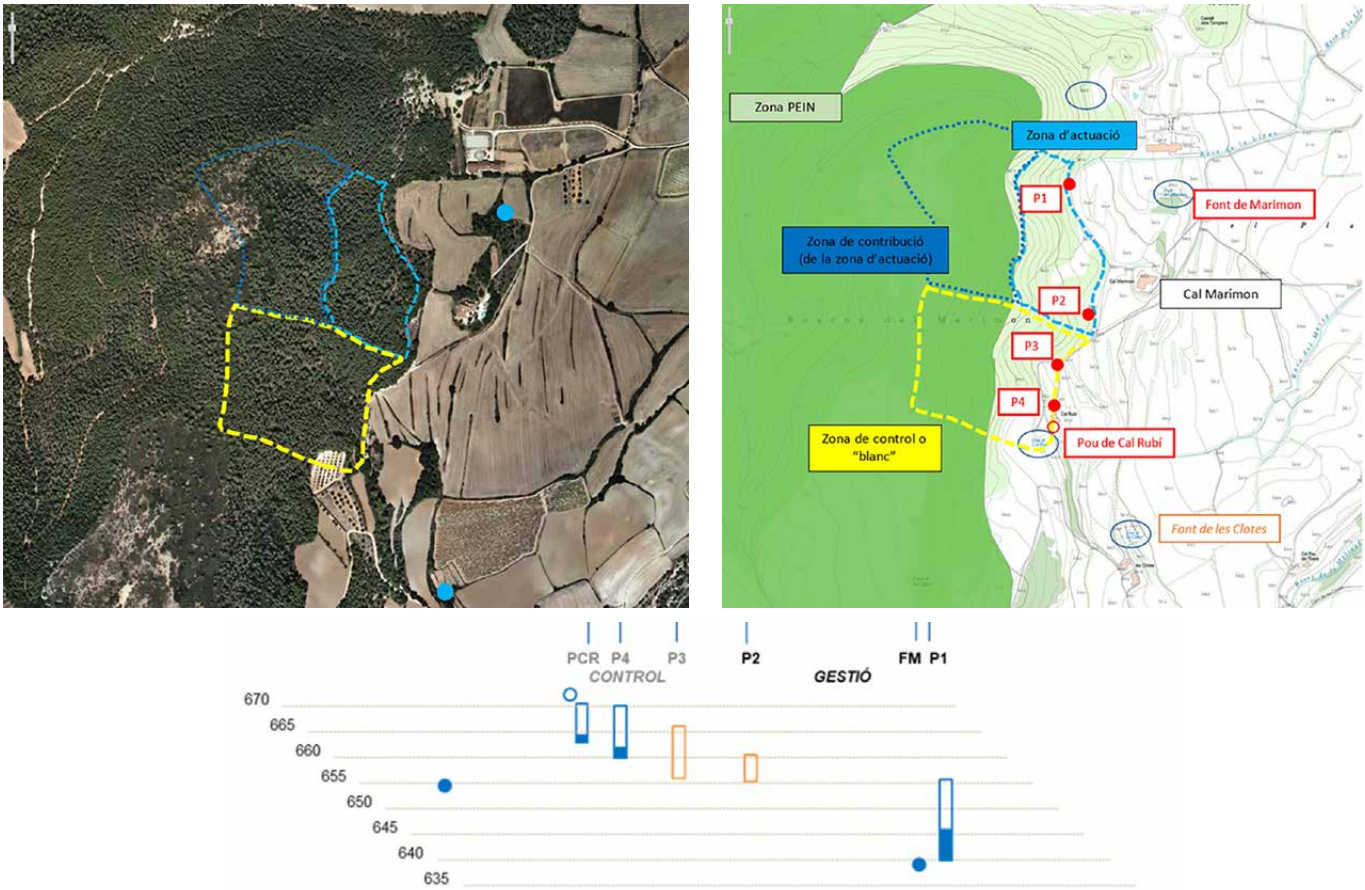


Figura 3. Àmbits d'actuació i de control al bosc de Can Marimon, amb la ubicació de les fonts identificades i els punts de control sensoritzats. A la part inferior, els nivells d'aigua identificats just a l'entrada en servei del monitoratge.

Resultats

Impacte de la gestió forestal en el carboni, aigua i biodiversitat

D'acord amb la metodologia citada i les característiques estructurals de la massa abans i després del tractament, s'han obtingut els següents valors pels propers 15 anys (Taula 3): fixació de 163,66 tones de CO_2, 9.535,22 m^3 d'aigua blava alliberada i manteniment de la capacitat d'acollida de la biodiversitat (el valor 0% indica conservació de la biodiversitat en la gestió forestal però no implica una millora respecte el valor inicial de l'IBP, fixat en un 54%).

La gestió efectuada als estrats E2 i E4 és la que ha suposat un augment més gran en la fixació de CO_2 per hectàrea, d'acord amb l'estructura de la massa i l'itinerari escollit. En conjunt, ha augmentat la fixació de carboni en gairebé 37 tCO_2/ha. L'impacte en el balanç de carboni i d'aigua es pot considerar elevat d'acord amb els valors mitjans que s'han obtingut en altres rodals analitzats en el projecte LIFE CLIMARK.

Pel que fa a l'impacte de la biodiversitat, s'han mantingut els diferents estrats i espècies, els arbres vius més grans, els arbres morts en peu i els portadors de dendromicrohàbitats però no es va generar més fusta gran morta donades les pertorbacions abiòtiques produïdes en els darrers temps.

Seguiment hidrològic a les conques bessones

Ençà dels inicis del projecte, s'han alternat un primer període molt humit a bona part de 2018, seguit d'un de molt sec a l'hivern i primavera de 2019 (just acabades les tasques de gestió forestal), un inici de 2020 de nou molt humit fins a meitat d'any, a partir del qual el clima sec o molt sec ha estat protagonista, al menys, fins a la primavera de 2022. Es tracta, en tot cas, de situacions relativament freqüents dins la marcada irregularitat del règim pluviomètric de la zona, amb unes precipitacions anuals mitjanes d'uns 528 mm (2019-2021), per sota dels 600 mm més típics de mitjanes climàtiques més amplies (2008-2021). Des del punt de vista de les temperatures, han estat anys només lleugerament per sobre de les mitjanes climàtiques.

A la Figura 4 es mostra les evolucions dels principals registres entre l'1 de desembre de 2018 i el 31 de desembre de 2021. En el cas dels sensors piezomètrics (P1, P4), les seves dades s'inicien al juny de 2019 i en el cas del P1 no es va poder disposar d'elles entre abril i desembre de 2020. Els aforaments manuals a les fonts s'havien iniciat uns mesos abans, gairebé des de les primeres visites de camp.

És interessant observar la bona resposta dels sensors als episodis de pluja, més acusada en el cas del P4, que a més mostra una molt bona correlació amb els nivells regionals de l'aqüífer (cas del piezòmetre de Carme-Cementiri). Els nivells de P1 mostren afeccions sobtades (polsos), probablement associades a entrades d'aigua o humitats al sondeig durant les pluges, l'efecte de les quals es dissipa ràpidament, en poques hores.

Taula 3. Impacte de la gestió forestal en el carboni, aigua i biodiversitat pels propers 15 anys.

Estrats	Superfície d'actuació (ha)	Impacte en el carboni (t CO_2 fixades)	Impacte en l'aigua (m^3 aigua blava)	Impacte en la biodiversitat (% millora)
E1	0,8	24,97	1.517,99	0,00
E2	1,43	88,72	3.481,79	0,00
E3	1,3	5,30	3.039,35	0,00
E4	0,9	44,66	1.496,09	0,00
RODAL	**4,43**	**163,66**	**9.535,22**	**0,00 (conservació)**
Valors/ha		**36,94**	**2.152,42**	**0,00 (conservació)**

Figura 4. Evolució de les precipitacions (mm/dia), els nivells piezomètrics (msnm) i els cabals de les fonts (l/s) a l'entorn de l'àmbit d'estudi.

La relació amb les fonts també és destacada i en aquest cas, el més interessant resideix en l'evolució de la relació o la proporció entre els cabals de les pròpies fonts, que podria mostrar un increment dels cabals específics associats a l'àrea gestionada (Font Marimon), especialment en els moments inicials de les aclarides realitzades. Tal i com posa de manifest la Figura 5, la disponibilitat de dades "pre-actuació" és molt limitada per a poder extreure conclusions més fermes sobre aquest comportament, però el seguiment futur, amb la recuperació del bosc en la zona gestionada, podrà contribuir també a millorar aquesta caracterització.

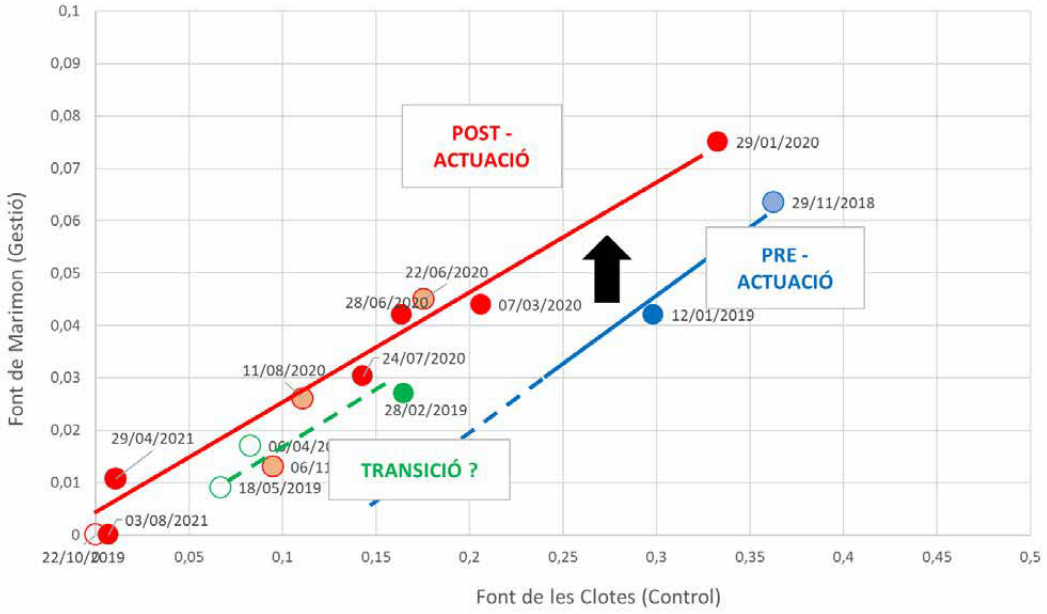


Figura 5. Proporció entre els cabals de les fonts estudiades (l/s), distingint diferents situacions en relació al moment dels treballs forestals executats.

Tornant a la relació entre els nivells P1 i P4, d'un episodi tant important com va ser el del temporal Glòria (gener de 2020), se'n desprèn una millora de nivells més significativa al P4 (Control) que al P1 (Gestió). Tot i l'aparent paradoxa, aquest efecte podria ser degut a que es partia, precisament, de nivells (relatius) més baixos, potser perquè la (major) vegetació de l'àmbit de control, sense gestió, havia demanat més aigua durant l'estiu i la tardor. En un episodi menor com el de finals del novembre anterior, la millora al P4 va "diluir-se" ràpidament, la qual cosa podria vincular-se també a que la major vegetació de la zona de control va capturar més aigua.

De fet, a l'entorn del P1 l'increment de reserves no només va ser més estable, si no que va arribar a invertir la seva tendència de descens, que arrossegaven tots dos piezòmetres des de mesos enrere. En comparar períodes de recessió, sense pluges, també es poden extreure efectes similars, associats a canvis en les entrades per infiltració i al possible assoliment de reserves més elevades (en termes relatius).

La marcada sequera de la segona part de 2021 (i inicis de 2022), amb la progressiva baixada de nivells, no ha permès avaluar més episodis o situacions per a comparar comportaments, a excepció de les pluges de finals de novembre de 2021, que seran analitzades una vegada es recuperin les dades d'aquests darrers mesos, encara no disponibles a la data de redacció del present text.

Conclusions

Pel que fa a l'anàlisi del balanç d'aigua in situ, els resultats preliminars apunten en la direcció plantejada inicialment, però encara és difícil extreure conclusions fermes i rigoroses. En part pels marcats períodes secs al llarg d'aquests anys, doncs són pocs els moments en que hi ha clars excessos en la generació d'aigua blava, i en part perquè la hipòtesi de conques bessones no seria suficientment rigorosa.

La comparació entre comportaments d'un i altre àmbit presenta incerteses significatives, doncs algunes de les diferències observades poden associar-se senzillament a comportaments hidrològics diferenciats, amb independència del paper del bosc. La manca de caracterització amb registres previs a les aclarides o el fet que les zones actuades només representen una fracció de zones més àmplies on s'integren els fluxos d'aigua tant dels sensors piezomètrics com de les fonts, són altres limitacions d'aquestes comparacions.

No obstant això, les dades obtingudes ajuden a millorar l'ajust de les simulacions numèriques més específiques que es realitzen en paral·lel a aquests treballs de camp, i que apunten a un increment de l'aigua blava, respecte la situació de control, de l'ordre del 8 al 14% per al conjunt d'aquests 3 anys ençà de les tasques de gestió executades. Una comparació amb les

Taula 4. Precipitacions i guanys d'aigua blava anuals estimats per al bosc de Can Marimon (mm/any).

Any	Precipitació (mm/any)	Increments anuals d'aigua blava (mm/any)	
		Valors estimats amb la metodologia LIFE CLIMARK	Simulació específica ajustada al monitoratge
2019	470	14,3 (2152 m^3/ha en 15 anys)	5,0 a 8,2
2020	625		10,7 a 18,7
2021	429		3,8 a 4,8

estimacions establertes segons la Metodologia desenvolupada al LIFE CLIMARK (d'acord amb els valors de la Taula 3) se sintetitzen a la Taula 4.

La continuïtat d'aquests observacions permetrà també, a mesura que ens allunyem dels treballs realitzats l'hivern de 2018 a 2019, cercar els efectes del nou procés d'aforestació iniciat aleshores i fins als pròxims treballs de manteniment forestal.

Més enllà de l'efecte de la tallada sobre l'aigua, els tractaments silvícoles aplicats han millorat la capacitat de fixació de carboni dels peus romanents en relació a un escenari de no gestió, que alhora comportarà una vitalitat més alta de la massa i l'obtenció en un futur de productes de millor qualitat.

Podem apuntar doncs, que aquest tractament impacta positivament en el balanç d'aigua i el de carboni dels propers anys, fins el càlcul d'una propera actuació silvícola, mantenint en tot moment la capacitat d'acollida de la biodiversitat.

Agraïments

A l'empresa Bosquerols SCCL, a la propietat de la finca Can Marimon i al projecte LIFE16 CCM/ES/000065 – LIFE CLIMARK.

Referències

Banqué, M., de Cáceres, M., García-Valdés, R., Martínez-Vilalta, J., Valentín, J., Vayreda, J. 2020. FORESTIME. Canvi dels serveis ecosistèmics dels boscos de Catalunya al llarg dels darrers 25 anys (període 1990-2014). CREAF-OCCC-CTFC.

Brotons, L., Pou, N., Herrando, S., Bota, G., Villero, D., Garrabou, J., Ordóñez, JL., Anton, M., Gual, G., Recoder, L., Alcaraz, J., Pla, M., Sainz de la Maza, P., Pont, S., Pino, J. 2020. Estat de la Natura a Catalunya 2020. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

Cervera, T.; Baiges, T.; Rabascall, X.; *et al.* 2022. Metodologia de càlcul de l'impacte de la gestió forestal en els serveis ecosistèmics: carboni, aigua i biodiversitat. Centre de la Propietat Forestal, Santa Perpètua de Mogoda. 61 pp.

Sabaté, S. 2009. Els boscos i l'evapotranspiració. Agència Catalana de l'Aigua (ed). Aigua i canvi climàtic. 115-126.

Zhang, L., Dawes, WR., Walker, GR. 2001. Response of mean anual evapotranspiration to vegetation changes at cachtment scale. Water Resources Research, Vol. 37, No. 3. 701-708. March 2001.

Objectius i resultats esperats

El projecte CLIMARK té com a principal objectiu contribuir a la mitigació i adaptació del canvi climàtic mitjançant la creació d'un mercat de crèdits climàtics que promogui la gestió multifuncional dels boscos mediterranis per augmentar-ne la capacitat d'embornal, evitar incendis, contribuir a l'aprovisionament d'aigua i conservar la biodiversitat.

A partir d'una gestió forestal multifuncional i climàticament intel·ligent es pretén: i) produir productes renovables i de proximitat allà on sigui possible; ii) capitalitzar sinergies de mitigació-adaptació al canvi climàtic; iii) integrar criteris de conservació i millora de la biodiversitat, i iv) tenir en compte les característiques locals del territori per identificar les opcions de gestió més coherents en cada cas.

En el disseny d'un futur mercat de crèdits climàtics per finançar aquesta gestió obtindrem:

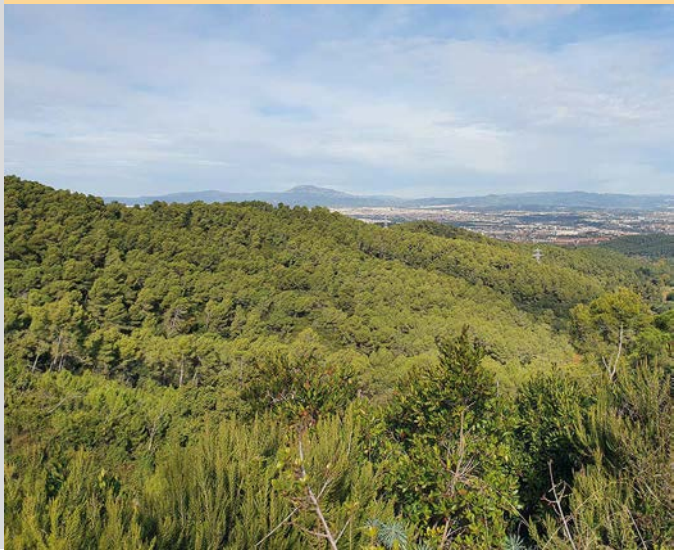
- Una metodologia robusta científicament, fàcil d'aplicar i transparent que permeti calcular l'impacte de la gestió en els tres serveis ecosistèmics establerts (carboni, aigua i biodiversitat);
- La quantificació d'una unitat d'intercanvi de l'impacte d'aquesta gestió, els crèdits climàtics;
- L'establiment de criteris, necessitats i oportunitats de la compravenda dels crèdits climàtics a través de la implementació de diferents proves pilot en el territori, amb la redacció de projectes forestals de mitigació i adaptació al canvi climàtic (PROMACC) i la cerca de finançament per a la seva implementació.

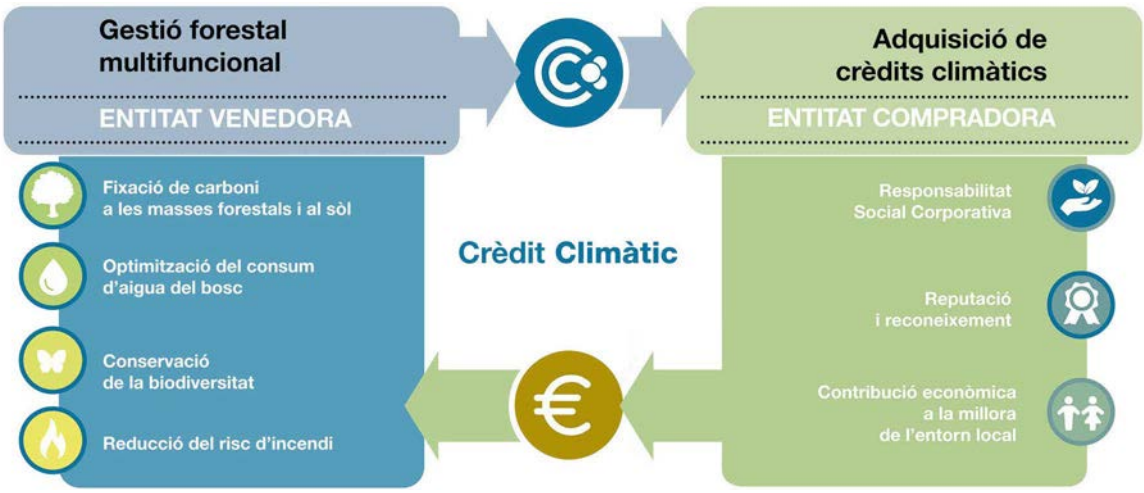
El projecte contribuirà a la posada en valor dels serveis forestals ecosistèmics que ens ofereixen els boscos i la gestió forestal, mitjançant la difusió i la compartició de coneixement expert sobre la multifuncionalitat de les forests, i també possibilitarà entendre millor els diferents mecanismes de finançament existents i de futur per promoure una gestió forestal climàticament intel·ligent a la Mediterrània.

Vigència: 2017 - 2022
Pressupost total: 1.121.883 €
(cofinançament de la UE del 60% elegible)

Entitat coordinadora:
Centre de la Propietat Forestal (CPF)

Entitats beneficiàries:
Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya,
Oficina Catalana del Canvi Climàtic,
Universitat de Lleida,
Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto
per i sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo





Socis del projecte

Generalitat de Catalunya · Centre de la Propietat Forestal · Oficina Catalana del Canvi Climàtic · CTFC · Consiglio Nazionale delle Ricerche · Universitat de Lleida Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària

LIFE CLIMARK (LIFE16 CCM/ES/000065)
és un projecte **LIFE** de Mitigació del Canvi Climàtic,
cofinançat pel Programa **LIFE** de la Unió Europea.

www.lifeclimark.eu @lifeclimark info@lifeclimark.eu

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

8CFE - 373

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

Impacto de la gestión forestal multifuncional en la fijación de carbono en pinares de pino carrasco post-incendio

PALERO MORENO, N.[1], GARCIA CODINA J.[1], CERVERA ZARAGOZA, T.[1], BAIGES ZAPATER, T.[1], LIZARRALDE, I.[2, 3] y ALONSO PONCE, R.[2, 3]

[1] Centre de la Propietat Forestal (CPF).
[2] föra forest technologies SLL.
[3] Instituto Universitario de Investigación Gestión Forestal Sostenible iuFOR

Resumen

Las masas forestales actúan como sumidero de carbono, pero su capacidad para acumular CO_2 se ve modificada por factores antrópicos como la gestión forestal. En el caso de las masas procedentes de regeneración post-incendio, de forma natural se crean unas estructuras densas y con diámetros bajos en las que la tasa de fijación de carbono por árbol individual es reducida. Cabe esperar que la aplicación de tratamientos silvícolas basados en modelos de gestión sostenible mejore esta tasa de fijación. Con el fin de valorar la capacidad de acumulación de carbono aéreo en masas de pino carrasco post-incendio, se han estudiado rodales afectados por un incendio forestal producido a finales de los años 70 y que presentan diferentes grados de intervención (sin gestión, con una intervención silvícola o con dos intervenciones). Este trabajo muestra el desarrollo de una herramienta de cálculo de la absorción de carbono post-incendio para el pino carrasco en masas dominadas por pies menores.

Palabras clave

Fijación de CO_2, regenerado post-incendio, tratamientos silvícolas.

1. Introducción

Los ecosistemas forestales son un reservorio considerable de carbono, y su capacidad para actuar como sumideros es vital en la actual situación de cambio climático. No obstante, algunas consecuencias derivadas del propio cambio climático, como las sequías y el fuego (ROJO Y MONTERO, 1994) o las plagas (MONTERO et al., 2004), podrían reducir la capacidad de fijación de carbono por parte de los bosques (sumideros débiles). De hecho, ya existen signos de que los bosques europeos se encuentran en las primeras fases de saturación en su función de sumideros de carbono (NABUURS et al., 2013).

Los bosques tienen diferentes capacidades de fijación a lo largo de su vida. Así las masas jóvenes tienen una alta capacidad de crecimiento en comparación con las edades maduras (RUÍZ-PEINADO et al. 2020). Sin embargo, un regenerado post-incendio abundante está acumulando una gran cantidad de carbono, pero, sin gestión, llega un momento en que el crecimiento tiende a estancarse. En este punto, mediante una adecuada intervención silvícola se puede reactivar el crecimiento: reduciendo la competencia por recursos y por tanto favoreciendo el crecimiento de los pies restantes. Así mismo, la gestión forestal sostenible, además de contribuir a la mitigación del cambio climático, mejora la resiliencia de las masas frente a perturbaciones como sequías, plagas o incendios forestales, evitando las emisiones derivadas del efecto de estas perturbaciones. Además, garantiza el mantenimiento de otros servicios y funciones del bosque como la protección del suelo, la regulación del ciclo hidrológico (CHAMÓN, 2021) y puede integrar medidas de conservación y/o mejora de la biodiversidad potencial de la masa.

Otro efecto positivo de la gestión forestal sobre la fijación de carbono es la capacidad para condicionar los productos madereros obtenidos. Una selvicultura encarada a obtener productos de mayor calidad (madera estructural, carpintería, etc.) contribuye decisivamente a la obtención de

productos con mayor vida útil, es decir, productos con mayor duración estimada, que mantienen el carbono fijado durante largo tiempo. Por tanto, la gestión forestal con criterios de sostenibilidad permite mantener stock a largo plazo en los diversos almacenes forestales y en los productos y materiales resultantes (PARDOS, 2010).

El desarrollo de herramientas de cálculo para estimar la cantidad de carbono existente en una masa forestal nos permite valorar su capacidad de sumidero en función de diferentes actuaciones de gestión forestal (incluyendo la no gestión como control). Así, en el caso concreto de masas de regenerado joven con diámetros no inventariables (diámetro normal menor de 7,5 cm), podemos cuantificar la absorción de carbono de dichas masas para distintas alternativas e itinerarios selvícolas. Si estas herramientas, además, utilizan sensores remotos que proporcionan información espacialmente continua sobre grandes superficies, lo que supone abaratar costes sin perder precisión, será posible abordar la evaluación del carbono existente en grandes territorios con plazos y presupuestos asumibles. De esta manera se contaría con datos e información que permiten tomar la mejor decisión de gestión para el objetivo buscado en cada momento. Además, este desarrollo aporta información que refuerza la hipótesis del efecto de la gestión forestal sostenible sobre la maximización del carbono absorbido, tanto en cantidad como en vida útil en sus productos.

En el proyecto Life Climark, que tiene como objetivo principal la promoción de la gestión forestal mitigadora mediante el diseño de un mercado de créditos climáticos, se han testado diferentes actuaciones silvícolas de mitigación del cambio climático incluyendo los tratamientos en masas jóvenes de pino carrasco que se analizan en este artículo. Los datos obtenidos avalan que en tratamientos en que se produce una fuerte extracción de biomasa (claras), el efecto de la gestión sobre el balance de carbono de la masa es mínimo y, por tanto, cabe esperar que a la larga acabe mejorando la cantidad de carbono fijado durante el turno.

2. Objetivos

En este trabajo se ha estudiado un bosque de pino carrasco de unos 40 años procedente de regeneración natural post-incendio donde existen rodales sin ninguna intervención silvícola, con una única intervención o con 2 intervenciones. Los objetivos fijados han sido:

- Comparar el balance de carbono de un bosque de regenerado de pino carrasco en función de la aplicación o no de silvicultura y la recurrencia de las actuaciones.
- Establecer una metodología de cálculo del carbono acumulado en masas de regenerado natural de pino carrasco con dominio de pies menores, lo que dificulta la realización del inventario y el cálculo del carbono almacenado de forma compatible con los datos de pies inventariables.

3. Metodología

3.1 Diseño del experimento, definición de la silvicultura y ejecución de los trabajos

El 4 de agosto de 1976 se produjo un gran incendio forestal que afectó a la mayor parte de la superficie forestal del municipio de El Montmell (Tarragona). Durante las 2 décadas siguientes se produjo una abundante regeneración forestal que dio lugar a masas densas de pino carrasco (con más de 10.000 pies/ha). A principios de la década del 2000, la Generalitat de Catalunya firmó convenios con varios propietarios de la zona con el fin de ejecutar un plan de actuación de prevención contra incendios forestales que proponía, entre otras actuaciones, la realización de trabajos silvícolas de mejora (clareos) sobre el regenerado de pino carrasco. Entre 2003 y 2006, se ejecutaron estas actuaciones centradas en zonas próximas a infraestructuras (carreteras, campos, etc.) y cuyo objetivo era disminuir la carga de combustible existente por lo que el peso de la corta fue alto, dejando una densidad final alrededor de los 1.000 pies/ha. Los trabajos se realizaron manualmente y la totalidad del producto se quedó en el bosque debidamente cortado y extendido sobre el suelo.

En 2019, en el marco del proyecto Life Climark se planteó la posibilidad de volver a actuar en la zona y se decidió realizar 2 tipos de cortas: una primera clara sobre un rodal con intervención previa en 2003 (finca privada denominada Aiguaviva) y un clareo sobre un rodal de regenerado en el que no se había intervenido tras el incendio (finca Els pins verds). También se seleccionó un rodal donde no se había actuado después del incendio ni se pretendía actuar (control).

Así se obtuvo el siguiente diseño experimental formado por 3 rodales con intervenciones en algún momento y un rodal no intervenido (Figuras 1 y 2):

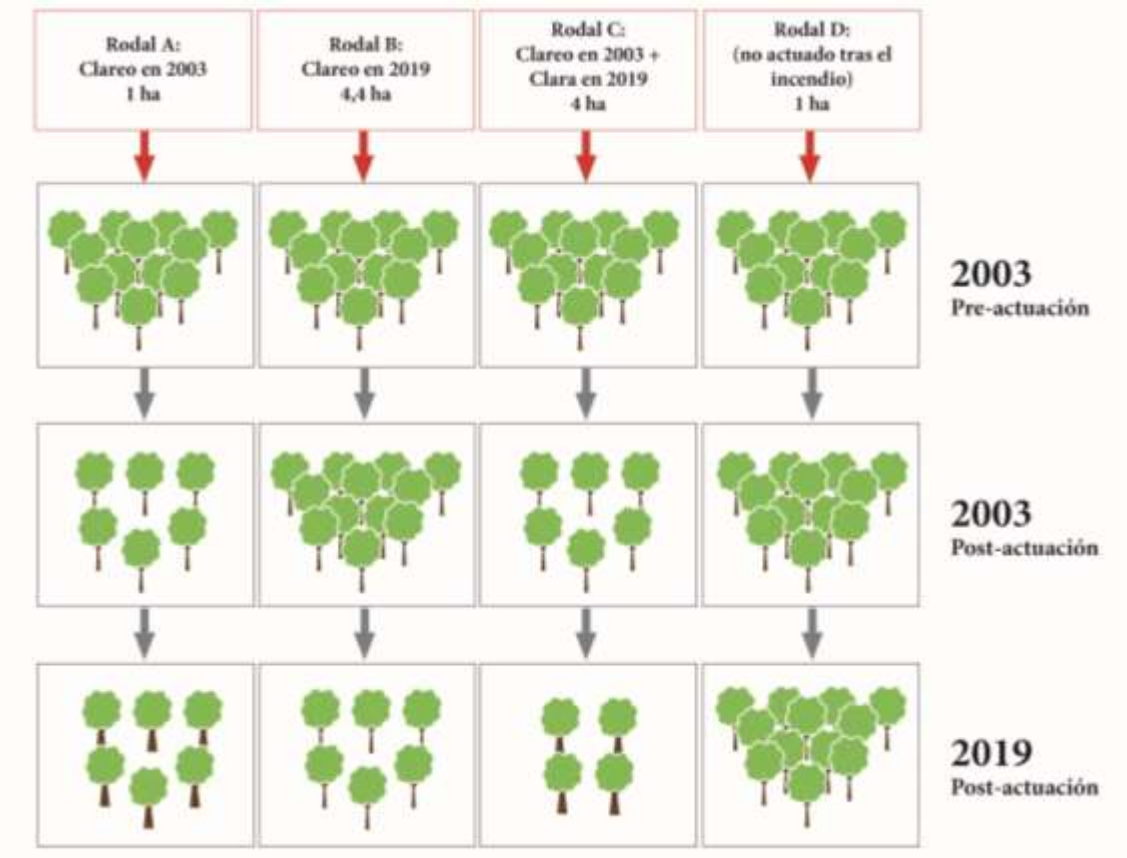


Figura 1. Croquis de la evolución de cada rodal en base a la gestión silvícola aplicada a lo largo del tiempo.

Los tratamientos silvícolas implementados durante la primavera de 2019 usan como referencia las orientaciones de gestión forestal ORGEST (PIQUÉ et al., 2011b), concretamente los modelos para el pino carrasco (BELTRÁN et al., 2011). En función de la calidad de estación (estimada en base a las claves ORGEST) y al objetivo de gestión (producción de madera y prevención de incendios), el modelo de referencia a aplicar fue el Ph05.

Cumpliendo con los objetivos del proyecto Life Climark, se planificaron actuaciones pensadas para incidir positivamente sobre la fijación de carbono, la vulnerabilidad a grandes incendios forestales y la biodiversidad.

Figura 2. Estado de los rodales en 2019 antes de realizar las actuaciones silvícolas.

Los itinerarios fijados fueron los siguientes:

- Clareo (rodal B): corta semi-selectiva respetando los pies de pino carrasco que presentaban clara dominancia e incidiendo sobre los pies dominados y/o suprimidos. Densidad final alrededor de los 1800 pies/ha. También se respetaron los ejemplares de encina y roble existentes, así como los pies con singularidades (microhábitats, madera muerta, etc.).
- Clara baja (rodal C): reducción de un 30% del área basimétrica inicial dejando unos 925 pies/ha finales y evitando abrir el dosel arbóreo. Se respetaron los ejemplares de mejor porte y mayor diámetro de pino carrasco, encina y roble, así como los pies con elementos singulares. Desbroce selectivo incidiendo sobre el matorral de más de 1,3 m de altura y respetando hasta un 25% de recubrimiento (respetando las especies protegidas, de interés biogeográfico o con fruto carnoso) y resalveo de quercíneas dejando los 2 o 3 pies mejor conformados.

La ejecución del clareo se realizó manualmente siguiendo las indicaciones del itinerario fijado. No fue necesario desembosque de la madera y los restos quedaron sobre el rodal bien extendidos y cortados a menos de 1,5 m de longitud (Figura 3).

En el caso de la clara, se realizó el marcaje pie a pie de parte del rodal para facilitar la comprensión de los criterios de corta por parte de los operarios. El producto obtenido se desemboscó con autocargador (árbol entero) por lo que fue necesario abrir líneas de unos 3 m cada 40 m. El destino de la madera fue la producción de biomasa (36 t/ha).

Figura 3. De Izquierda a derecha: Ortofoto 2018 (rodales antes de la actuación); Ortofoto 2019 (rodales después de la actuación); Ortofoto 2020 (rodales 1 año después del tratamiento). A: rodal actuado en 2003; B: rodal actuado en 2019; C: Rodal actuado en 2003 y en 2019; D: zona no actuada después del incendio.

3.2 Carbono fijado a partir de datos de campo y método de cálculo de la absorción de carbono en masas de pino carrasco post-incendio.

Para determinar la capacidad de fijación de carbono de cada uno de los rodales estudiados y conocer la variación en base al momento de aplicación de los tratamientos silvícolas era necesario fijar una metodología fiable de cálculo del carbono.

En los rodales con dominio de pies inventariables (rodales A, B, C y D en 2019) se han calculado diferentes fracciones de biomasa (carbono de la biomasa aérea y de las raíces, los aprovechamientos silvícolas y los restos generados por estos) sobre las que se ha aplicado un factor de carbono (FC) por especie (CREAF, IEFC), es decir, el porcentaje en peso del carbono contenido en la materia seca para cada especie. De esta manera, el FC utilizado para el *Pinus halepensis* ha sido 0,499.

Las fracciones de biomasa calculadas son la biomasa aérea total (BAT), la biomasa de ramas y hojas (BRH) y la biomasa subterránea total (BST). Para las dos primeras se utilizan ecuaciones alométricas propuestas por el CREAF (Aplicación ALLOMETR APP, 2019) a partir de datos del Inventario Ecológico y Forestal de Catalunya (IEFC), mientras que para la biomasa subterránea (BST) se utilizan ecuaciones propuestas por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) (Tabla 1). Estas ecuaciones se utilizan para calcular las fracciones de biomasa tanto de los árboles en pie como de los afectados por las actuaciones silvícolas (CERVERA et al, pendiente de publicación). Un estudio reciente (AMEZTEGUI et al., submitted) ha comprobado la importancia de la adecuación de las alometrías seleccionadas en la estimación de la biomasa en los bosques, mostrando que es siempre preferible utilizar ecuaciones desarrolladas en base a muestras locales, o próximas geográficamente al área de estudio.

Tabla 1. Ecuaciones utilizadas para el cálculo de las diferentes fracciones de biomasa. DBH: diámetro normal (cm); Ht altura (m)

Especie	VD	Ecuación	A	B	C	Fuente
Pinus halepensis	BAT	$a \cdot DBH^b \cdot Ht^c$	0,08	1,96	0,52	IEFC
Pinus halepensis	BRH	$a \cdot DBH^b$	0,08	1,95		IEFC
Pinus halepensis	BST	$a \cdot DBH^b$	0,03	2,30		INIA

Para los rodales con predominio de pies no inventariables (rodales en 2003) este método de cálculo no se considera óptimo ya que emplea valores medios para toda Catalunya que no contemplan eficazmente masas de tan poco desarrollo. Por ello se ha optado por realizar un sencillo muestreo *adhoc* en zonas con valores dasométricos homologables a los que tenían, de media, los

rodales en ese año. Para identificar las áreas donde actualmente predominan los pies no inventariables se realizó una estratificación en función de la información LiDAR del vuelo más reciente disponible para la zona del Plan Nacional de Ortofografía Aérea (PNOA), que fue ejecutado en julio de 2016. Los datos LiDAR fueron procesados con el software easyLaz (ALONSO PONCE et al. 2018), una herramienta propia de fora forest techonologies basada en el ecosistema FUSION/LDV (MCGAUGHEY, 2021), generando rásteres del percentil 95 (P95) de la altura de los retornos (como sustituto de la altura dominante) de 5 m de resolución. De esta manera fue posible definir tres zonas o estratos según dicho P95 fuera inferior a 6,75 m (clase LH1), entre 6,75 y 8,25 m (clase LH2) y mayor de 8,25 m (LH3). En las áreas identificadas como LH1 se ubicaron aleatoriamente 3 parcelas Prodan (k=6), en las cuales la unidad de muestreo consiste en medir los seis árboles más próximos a un punto, considerado como centro de la parcela, y donde el sexto árbol es contado como medio árbol. Además de medir la distancia del centro de la parcela al sexto árbol, se midieron todos los diámetros normales y las alturas totales. Los valores medios de densidad, área basimétrica y altura media de estas tres parcelas resultaron ser 7274 pies/ha, 32.3 m^2/ha y 4.7 m, muy similares, salvo por la densidad algo menor, a los de los rodales en 2003 (ver Figura 3). De esta manera, aplicando las ecuaciones alométricas antes mencionadas a cada uno de ellos, y conociendo la densidad por el método del 6º árbol, se pudo obtener un valor medio de biomasa para los rodales en dicho año.

Finalmente, con el fin de valorar la diferencia entre ambos métodos de cálculo se decidió calcular la biomasa en los rodales con predominio de pies no inventariables con ambas metodologías.

3.3. Carbono emitido, balance de carbono y tasa de fijación

Mediante el proceso de descomposición de la materia orgánica, una gran parte del carbono se emite a la atmósfera en forma de CO_2 mientras que una pequeña parte se incorpora al suelo en forma particulada o disuelta en el agua de lluvia. En este estudio, para la estimación de las emisiones de carbono a la atmósfera producida por descomposición de los restos de corta y las raíces se ha optado por utilizar como valor de referencia la tasa de carbono emitido a la atmósfera indicada por Herrmann y colaboradores (2015) para un periodo de 15 años (35,2%).

El balance de carbono de una masa en un momento concreto se ha calculado como la suma del carbono fijado (biomasa aérea y de raíces) menos las emisiones, dividido por el periodo de tiempo considerado:

Balance $C_{t/ha/año}$ = ((C. árboles vivos + C. raíces vivas) – Emisiones Carbono de los restos de corta y raices muertas)/$Periodo_{años}$

Finalmente se ha calculado la tasa de fijación de carbono como el cociente entre el almacenamiento de carbono (biomasa aérea y raíces) y el periodo de tiempo considerado:

Tasa de $fijación_{t/ha/año}$ = ((C. árboles vivos + C. raíces vivas)$_{periodo}$)/$Periodo_{años}$

3.4 Estimación teórica del carbono fijado

El carbono fijado a partir de 2019 se ha calculado de forma teórica. Para ello se ha utilizado la metodología de cálculo establecida en el proyecto Life Climark en que el balance de carbono secuestrado en el periodo considerado se obtiene del carbono fijado por el arbolado que queda en pie tras la actuación silvícola, en el marco de una gestión multifuncional ORGEST, respecto a un escenario de referencia de No gestión, en este caso, para el pino carrasco (CERVERA et al, pendiente de publicación).

El balance de carbono incluye el cálculo de la diferencia de CO_2 fijado por la vegetación en los 15 años siguientes a la corta respecto a la no-gestión menos el CO_2 emitido por los trabajos forestales, el CO_2 emitido en el transporte de los productos a industria y el CO_2 emitido por la

combustión de los productos de vida corta. A este valor se le suma el carbono evitado correspondiente a CO_2 evitado por sustitución más el CO_2 evitado por la prevención de incendios.

Impacto de la gestión sobre el balance de CO_2 = t CO_2secuestrado - t CO_2emitidas + t CO_2evitadas

t CO_2secuestradas arbolado = t CO_2secuestradas gestión – t CO_2secuestradas no gestión

t CO_2emitido = emitido trabajos forestales + t CO_2emitido transporte + emitido productos vida corta

t CO_2evitadas = t CO_2evitado por sustitución + t CO_2evitado prevención incendios

Partiendo de los datos dasométricos de las cortas realizadas en 2019 (datos de campo de los rodales B y C) se ha calculado el producto obtenido, su peso seco y las fracciones de este producto que han ido a productos de vida larga, media o corta. El resto de los parámetros se han estimado según la metodología de CERVERA et al. (pendiente de publicación).

4. Resultados

4.1 Resultado de los tratamientos silvícolas

Las actuaciones realizadas han permitido compatibilizar el aprovechamiento maderero con la reducción de la competencia entre pies, el descenso de la vulnerabilidad al fuego de copas de la masa y la conservación de la biodiversidad.
La Tabla 2 muestra los parámetros dasométricos de los 4 rodales estudiados. Los datos corresponden a la masa total, es decir, incluye todas las especies presentes (pino carrasco, encina y roble).

Tabla 2. Parámetros dasométricos de los rodales en 2019 (antes y después de la actuación). A: rodal actuado en 2003; B: rodal actuado en 2019; C: Rodal actuado en 2003 y en 2019; D: zona no actuada después del incendio.

2019	Pre-tratamiento			Post-tratamiento		
Rodal	Densidad (pies/ha)	AB (m^2/ha)	Volumen (m^3/ha)	Densidad (pies/ha)	AB (m^2/ha)	Volumen (m^3/ha)
A	1114	18,24	69,67	1114	18,24	69,67
B	3991	23,6	95,3	1141	11	38,7
C	1114	18,24	69,67	700	14,11	54,18
D	3991	23,6	95,3	3991	23,6	95,3

La vulnerabilidad al fuego de copas se ha evaluado con las claves CVFoC definidas en las ORGEST (PIQUÉ et al., 2011a) y, para los rodales con intervención en 2019 (B y C), se ha pasado de una vulnerabilidad alta (A) a una vulnerabilidad media (B). Los rodales no intervenidos mantienen una vulnerabilidad alta al fuego de copas.

La capacidad de las masas para albergar biodiversidad se ha obtenido a través del Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) que es una herramienta de soporte a la planificación y gestión forestal, pensada principalmente para facilitar la integración de criterios de conservación de la biodiversidad en la gestión multifuncional (BAIGES et al., 2019). Todas las masas estudiadas son jóvenes por lo que se encuentran en fases iniciales de desarrollo y no se puede esperar la presencia de abundantes elementos indicativos de biodiversidad. Los rodales A y C presentaba una capacidad de acogida de la biodiversidad media-baja que se ha mantenido después de la actuación y es previsible que mejore en unos años gracias a las medidas de conservación aplicadas. Los rodales B y D partían de una capacidad de acogida de la biodiversidad baja. El rodal B ha mantenido su valor de IBP después de la actuación y cabe esperar que presente nuevos elementos indicadores de biodiversidad antes que el rodal D.

4.2 Fijación de carbono según datos de campo

A partir de la información obtenida por los inventarios dasométricos realizados antes y después de las actuaciones se han calculado, para cada rodal, las diferentes fracciones de carbono existentes (carbono de la biomasa aérea y de las raíces, los aprovechamientos silvícolas y los restos generados por estos). Para todos los casos se han empleado las alometrías citadas en la metodología, pero para los rodales donde predominaban los pies no inventariables, también se ha empleado la metodología de cálculo desarrollada para este trabajo ya que en estos casos las alometrías subestiman el carbono acumulado. Estos cálculos se han realizado únicamente para el pino carrasco ya que era la especie objeto de estudio.

La Figura 4 muestra las diferentes fracciones de carbono calculadas para el pino carrasco en cada rodal, a lo largo de los años y en función de las intervenciones realizadas. También incluye las emisiones calculadas en 2019.

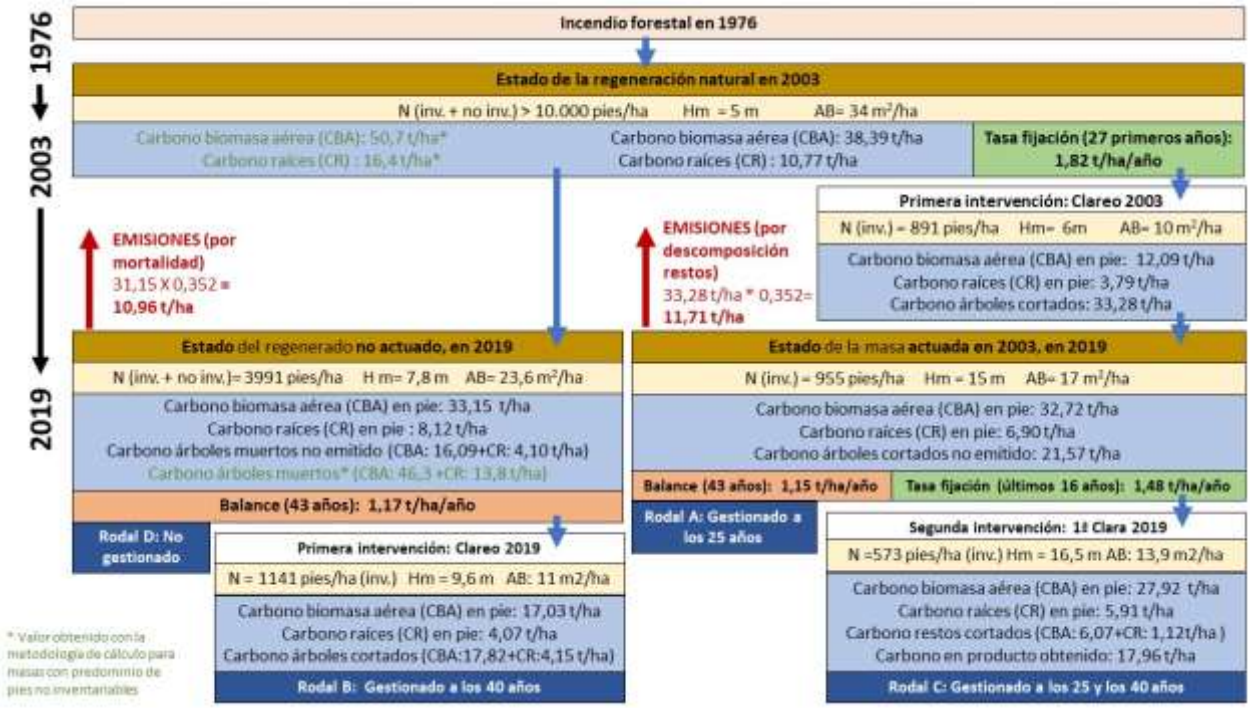


Figura 4. Parámetros dasométricos y stock de carbono para cada rodal en los años de intervención silvícola.

En 2003, transcurridos 27 años después del incendio, la regeneración era abundante por lo que el stock de carbono era elevado (67,1 t/ha según metodología propia y 49,16 t/ha según cálculo con valores medios de toda Catalunya). Esta diferencia entre los dos métodos de cálculo se deriva obviamente de haber realizado un muestreo específico, pero al haber sido de tan sólo tres parcelas no nos permite concluir que la estimación del carbono sea más precisa que los valores medios para ese estrato en Catalunya. De hecho, los intervalos de confianza para los valores de CBA y CR estimados con el muestreo *adhoc* son lógicamente muy amplios (CBA: 50,7±35,3; CR: 16,4±9,6, al 95% de probabilidad) e incluyen a los valores medios calculados para toda Cataluña (38,4 y 10,8, respectivamente). No es el objetivo de este trabajo probar la adecuación de esos valores medios a masas tan poco desarrolladas, pero todo apunta, como era lógico prever por otra parte, a que en este tipo de masas se estaría subestimando el contenido en carbono si se aplican los valores medios.

Al realizar la primera actuación (2003) se cortó un alto porcentaje del carbono fijado (unas 33,28 tC/ha según cálculo con valores medios de toda Catalunya) que se dejó en el monte como restos de corta.

En 2019 podemos ver que la masa no actuada en 2003 (**rodal D**) no solo no ha aumentado el carbono almacenado, sino que ha experimentado un descenso en el carbono acumulado en biomasa aérea y raíces (unas 8 t/ha). Esta disminución va asociada a una alta mortalidad de pies producida entre 2003 y 2019. Se ha calculado que el carbono acumulado por los árboles muertos (según cálculo con valores medios de toda Catalunya) es de 31,15 t/ha de las cuales 10,96 se emitieron a la atmósfera.

Sin embargo, el rodal intervenido en 2003 (**rodal A**), en 2019 presenta un crecimiento del stock de carbono en biomasa aérea y raíces de casi 24 t/ha. En este caso el clareo ha evitado la mortalidad de pies por exceso de competencia y ha favorecido el crecimiento individual de cada uno de los pies restantes. En este rodal, a lo largo de 16 años también se han producido emisiones de carbono a la atmosfera derivadas de la descomposición de los restos de corta (incluye todos los árboles cortados), concretamente se emitieron 11,71 t/ha.

De hecho, el balance de carbono en 2019 entre el rodal intervenido en 2003 (1,17 t/ha/año) y el no intervenido (1,15 t/ha/año) es similar, con la importante diferencia de que en el rodal intervenido la cantidad de carbono está acumulada en pies de mayor tamaño (diámetro y altura).

En 2019, el **rodal B**, intervenido por primera vez ese año, ha sufrido un descenso en su stock de 20,17 t/ha de carbono aéreo y de raíces tras la corta (clareo).

Finalmente, el **rodal C**, que también había experimentado un aumento del stock de carbono (unas 23,74 t/ha) después de la intervención de 2003, tras la segunda actuación, ha sufrido un descenso del stock mucho menor (5,79 t/ha de biomasa aérea y raíces) que en la primera actuación.

4.3 Estimación teórica de la fijación de carbono

Para valorar el carbon fijado a partir de 2019 se ha seguido la metodología establecida en el projecto Life CLimark que permite hacer un cálculo teórico del cabono fijado (en este caso en 15 años) por una masa gestionada siguiendo un modelo ORGEST.

Tal y como se puede observar en la Tabla 3 la previsión es que el rodal C (sobre el que se han realizado 2 actuaciones) fije una cantidad de carbono superior a la del rodal B (con una única actuación) en los próximos 15 años.

Rodal	Actuación en 2019	Diferencia del CO_2 fijado respecto a la no gestión	CO_2 emitido por los trabajos forestales	CO_2 emitido en el transporte del producto	Balace CO_2 en el bosque	CO_2 emitido por la combustión de los productos de vida corta	CO_2 evitado por substitución	CO_2 evitado por prevención de incendios	Impacto del balance de CO_2 (15 años)
		t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha	t/ha
B	Clareo	53,95	0,29	0,09	53,57	29,89	14,1	2,21	39,99
C	Clara baja y desbroce selectivo	54,5	0,33	0,09	54,08	7,09	3,8	2,46	53,24

Tabla 3. Balance teórico de CO_2 en los 15 años siguientes a las actuaciones realizadas en 2019.

5. Discusión

Los modelos de gestión ORGEST están diseñados para integrar los objetivos de producción y prevención de incendios forestales pero también responden a criterios de aumento de la biomasa fijada. Asimismo, permiten la integración de medidas de conservación y/o mejora de la biodiversidad.

Conservar la capacidad de sumidero estable de una masa forestal es una de las líneas de trabajo de mitigación. En este sentido, los resultados obtenidos indican que los primeros tratamientos selvícolas aplicados en masa de regenerado natural post-incendio de pino carrasco, a pesar de suponer una fuerte reducción de la biomasa, no han supuesto una descapitalización de los rodales, sino que han favorecido el crecimiento individual de cada pie restante. Así, 16 años después de

realizar una clara se ha comprobado que se produce un aumento de stock de carbono. Mientras que, la ausencia de gestión forestal puede derivar en un estancamiento, e incluso una reducción, en la capacidad de fijación de carbono de la masa (rodal D), y por tanto en su función de sumidero de CO_2 (Figura 4). Resultados similares se han obtenido por RUIZ-PEINADO et al. (2013), DEL RÍO et al. (2008), MONTERO et al. (2003) y BALBOA-MURIAS et al. (2006). Este resultado se cumple independientemente del método de cálculo de la biomasa utilizado en rodales con pies no inventariables, aunque según los datos obtenidos con el muestreo *adhoc* el descenso de biomasa por mortalidad sin gestión sería superior.

Por tanto, asumiendo que un escenario de gestión es más favorable a la fijación de carbono (mayores crecimientos) que la no gestión, se debería estudiar si unos tratamientos pueden ser más positivos que otros. Tanto el peso de la corta como el momento de realización de cada tratamiento influyen en la biomasa acumulada. En el caso de regenerados de pino carrasco parece interesante no alargar demasiado la realización del primer tratamiento si se quiere maximizar la fijación de carbono, ya que llega un momento en que el rodal D (no intervenido nunca tras el incendio) experimenta una fuerte mortalidad de pies por exceso de competencia y, por tanto, a pesar del crecimiento de los pies restantes, el resultado es un descenso en la biomasa acumulada.

En cuanto al peso de claras o clareos, en este estudio se han realizado intervenciones fuertes con la consiguiente disminución de la biomasa acumulada en el rodal. Con el fin de evitar una extracción tan elevada de biomasa (difícil de compensar con los crecimientos posteriores) podría ser interesante dejar un número mayor de pies, pero, en cualquier caso, la corta deberá ser suficiente para facilitar el buen desarrollo de los pies restantes. El modelo ORGEST de referencia para este rodal propone intervenir a los 12-15 años (al alcanzar una altura dominante de 4,5 m) y dejar una densidad mayor de 1200 pies/ha.

Pero en el cálculo del carbono secuestrado, no solo hay que considerar las cantidades fijadas, sino que también hay que valorar las emisiones. En la mayoría de los casos es antieconómico el aprovechamiento de los pies cortados en un clareo, y éstos acaban quedándose en el mismo rodal lo que provoca que una parte del carbono acumulado pase al suelo (y por tanto continúe fijado en el sistema forestal), y otra parte pase a la atmosfera (MATTSON et al., 1987). No obstante, también se puede dar el caso de rodales muy accesibles y con industria cercana donde sea posible el aprovechamiento del producto para biomasa, con lo que la biomasa extraída se calcularía como producto de sustitución de vida útil corta.

En general, es inevitable que las primeras actuaciones supongan un balance negativo de carbono, pero son necesarias para mejorar el balance global de la masa a lo largo de su turno.

La primera clara supone una extracción menor de biomasa y el producto ya es claramente aprovechable para biomasa actuando de producto de sustitución. El cálculo teórico de carbono fijado tras la clara en el caso de estudio (Tabla 3) nos muestra que las masas adultas mejoran su fijación a lo largo de los años (ya que en 2019 la segunda actuación da mejores resultados que la primera). Además, las sucesivas actuaciones permitirán avanzar en la obtención de productos de mayor vida útil, es decir, productos asociados a diámetros mayores como la sierra o la construcción que almacenan el carbono durante más tiempo (PORRAS et al., 2017).

6. Conclusiones

Ante las previsiones de cambio climático que pueden reducir la capacidad de sumidero de las masas forestales, la silvicultura se presenta como una herramienta útil para aumentar la capacidad de fijación de carbono de los bosques de pino carrasco post-incendio frente a la ausencia de gestión. Los modelos ORGEST permiten calcular la capacidad de fijación de carbono de las masas gestionadas siguiendo los tratamientos establecidos por estos modelos frente a modelos de no-gestión.

Establecer métodos de cálculo del carbono acumulado para regenerados jóvenes en base a datos locales se estima como una buena opción, aunque para asegurar su fiabilidad sería necesario recopilar una muestra más amplia que la utilizada en este trabajo.

El balance de carbono en los rodales gestionados es similar al de los rodales sin gestión, pero la biomasa está repartida en menos pies, dando lugar a árboles con mayor diámetro que proporcionan productos de mayor vida útil.

En general, se puede ver que a medida que se avanza en el régimen de cortas de un modelo de gestión ORGEST se obtienen mejores resultados en el balance de carbono (un primer clareo permite fijar a medio plazo mayor cantidad de CO_2 que una clara). Además, mientras que en las claras se puede considerar que todo el producto se queda en el bosque o va a biomasa, en las siguientes actuaciones (clareos) parte del producto puede ir dedicado a embalaje, un producto que se va reciclando y, por tanto, con el que se evita más emisiones de CO_2.

Una silvicultura cuyo objetivo principal sea buscar la maximización de la capacidad de sumidero de las masas de pino carrasco debe fomentar el incremento y la conservación de stocks y buscar la obtención de productos madereros de vida larga (sierra, estructural, chapa) o, mientras no es posible, productos de sustitución de combustibles fósiles (biomasa).

Esta silvicultura también debe integrar tratamientos para reducir la vulnerabilidad al fuego con tal de intentar minimizar las pérdidas de stock asociadas a los incendios forestales.

La maximización de la fijación de carbono también es compatible con la conservación de la biodiversidad integrando en los tratamientos acciones puntuales para mantener los elementos importantes de biodiversidad y/o generarlos si es el caso.

7. Agradecimientos

A los fondos LIFE por la financiación recibida a través del proyecto Life CLIMARK (LIFE16 CCM/ES/000065).

8. Bibliografía

ALONSO PONCE, R.; LIZARRALDE, I.; RODRÍGUEZ-PUERTA, F.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, F.; 2018. EasyLaz 1.0. Registro de la Propiedad Intelectual SO-8/2018

AMEZTEGUI, A.; RODRIGUES, M.; GRANDA, V. Uncertainty of biomass stocks in Spanish forests: a comprehensive comparison of allometric equations. Submitted.

APLICACIÓN ALLOMETR APP.; 2019. https://laboratoriforestal.creaf.cat/allometrapp/

BAIGES, T.; PALERO, N.; CERVERA, T.; GONIN, P. i LARRIEU L.; 2019. Posada a punt de l'Índex de Biodiversitat Potencial (IBP): un termòmetre per a mesurar la capacitat d'allotjar biodiversitat dels boscos (gestionats) de Catalunya. En Silvicultura 80, tardor 2019, pp 26-36.

BALBOA-MURIAS, M.A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A.; ÁLVAREZ-GONZALES, J.G.; 2006. Temporal variations and distribution of carbon stocks in aboveground biomass of radiata pine and maritime pine pure stands under different silvicultural regimes.Forest Ecology and Management 237:29-38.

BELTRAN, M.; PIQUÉ, M.; VERICAT, P.;CERVERA, T.; 2011. Models de gestió per als boscos de pi blanc (*Pinus halepensis* Mill.): producció de fusta i prevenció d'incendis Forestals. Serie: Orientacions de gestió forestal sostenible de Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya.

CERVERA, T.; RABASCALL, X.; BAIGES, T.; PORRAS, D.; PALERO, N.; AMEZTEGUI, A.; VEGA, C.; RODRIGUES, M.; ALCASENA, F.; VAYREDA, J.; CASALS, P.; BELTRAN, M.; BALLART, H.; GILI; LIZARRALDE, I.; Pendiente de publicación. Metodologia de càlcul de l'impacte de la gestió forestal en els serveis ecosistèmics: carboni, aigua i biodiversitat. Capítol 1. Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya.

CHAMÓN, M; 2021. Guías técnicas para la cuantificación y la contabilidad de la absorción de carbono de las técnicas de gestión forestal sobre *Pinus halepensis* y *Pinus pinaster*. Life forest CO_2. Región de Murcia. Sinergieco Murcia SL. Pág. 9.

DEL RÍO, M.; BARBEIRO, I.; BRAVO-OVIEDO, A., CALAMA, R.; CAÑELLAS, I., HERRERO, C., BRAVO, F.; 2008. Carbon sequestration in mediterranean pine forests. En: BRAVO et al. (Ed.), Managing Forest Ecosystems: the challenge of Climate Change. Kluwer Academic Publishers: 215-241.

HERRMANN, S., KAHL, T., BAUHUS, J. 2015. Decomposition dynamics of coarse woody debris of three important central European tree species. For. Ecosyst. 2. https://doi.org/10.1186/s40663-015-0052-5

MATTSON, K.G., SWANK, W.T., WAIDE, J.B.; 1987. Decomposition of woody debris in a regenerating, clear-cut forest in the Southern Appalachians. Can. J. For. Res. 17, 712–721. https://doi.org/10.1139/x87-114

MCGAUGHEY, R.J.; 2021. FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization. V4.20. USDA. 212 pp. Seattle, WA

MONTERO, G.; DEL RÍO, M, CAÑELLAS, I., MUÑOZ, M., ROJO-ALBORECA. A.; 2003. Including CO2 fixation in the evaluaiton of silvicultural alternatives in Scots pine stands in Spain. In: Proceedings of Decission Support for Multiple purpose forestry. Vienna, April 23-25.

MONTERO, G., MUÑOZ, M; DONÉS, J., ROJO-ALBOREDA, A.; 2004. Fijación de CO2 por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. En los Montes Pinar y Valsaín y Mata del Valsaín. Investigación Agraria: Sistemas Recursos Forestales, Vol 13.

MONTERO G, RUIZ-PEINADO, R. MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO_2 por los bosques españoles. Monografías INIA: serie forestal nº 13. Ministerio Educación y ciencia.

NABUURS G.J. ; LINDNER, M. ; VERKERK, H.; GUNIA, K.; 2013. First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. Natute Climate Change. Published online.

PIQUÉ, M. ; CASTELLNOU, M. ; VALOR, T. ; PAGÉS, J.; LARRAÑAGA, A.; MIRALLES, M.; CERVERA, T.; 2011a. Integració del risc de grans incendis Forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures al foc de capçades. Serie: 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 Ctatlunya.

PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; CERVERA, T.; BAIGES, T.; FARRIOL, R.; 2011b. Tipologies Forestals arbrades. 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.

PARDOS, J.A.; 2010. Los montes españoles y el cambio climático. En INIA: Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. INIA. 169-189 pp. Madrid.

PORRAS, D.; RABASCALL, X.; CERVERA, T.; 2017. Metodología de cálculo de la capacidad de sumidero de carbono de los modelos multifuncionales ORGEST. En Actas del 7º Congreso Forestal Español. 7CFE01-130. Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales. Plasencia. Cáceres. Extremadura.

ROJO, A.; MONTERO, G.; 1996. El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. Historia y selvicultura de los pinares de Cercedilla, Navacerrada y Valsaín. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Pág. 293.

RUIZ-PEINADO, R., DEL RIO, M.; MONTERO, G.; 2011. *New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species*. Forest Systems, 176-189.

RUIZ-PEINADO, R., MONTERO, G., DEL RIO, M.; 2012. *Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species*. Forest Systems, 42-52.

RUIZ-PEINADO, R., BRAVO-OVIEDO, A., LÓPEZ-SENESPLADA, E., MONTERO, G., DEL RÍO, M.; 2013. *Do thinnings influence biomass and soil carbón stocks in Mediterranean maritime pinewoods. European Journal of Forest Research 132(2): 253-262.*

RUIZ-PEINADO, R.; LÓPEZ, E.; MONTERO, G.; LOZANO J.A.; 2020. La fijación de carbono en los sistemas forestales del Parque Natural del Alto Tajo. Mejora y mantenimiento por parte de la gestión forestal. Revista Foresta 76. Pág. 40.