



reactiva Brañosera

Acción15. Itinerario selvícola para ejecución de modelos en SIMANFOR

Este documento muestra los itinerarios selvícolas introducidos en SIMANFOR para ejecutar los modelos de crecimiento y comparar los diferentes escenarios.

Reactiva Brañosera cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MATERIAL Y MÉTODOS	7
2.1 Zona de estudio.....	7
2.2.2 Selección de escenarios selvícola	7
3. RESULTADOS.....	10
3.1 CÁLCULO DE CARBONO FIJADO	12
3.2 RESULTADOS DE BIOMASA Y CARBONO FIJADO.....	13
4. BIBLIOGRAFÍA	15



1. INTRODUCCIÓN

Los bosques formados por roble albar, una especie caducifolia perteneciente a la familia de las fagáceas, se extienden desde Irlanda en el oeste hasta regiones de Asia occidental, y desde Sicilia (Italia) en el sur hasta el sur de Finlandia en el norte (Eaton et al., 2016). Debido a sus características morfológicas y ecológicas, está estrechamente relacionado con el roble común (*Quercus robur L.*), con el que se hibrida con frecuencia, formando rodales mixtos que dificultan su identificación individual (Kremer et al., 2002). En condiciones naturales el *Quercus petraea* raramente constituye bosques puros (Eaton et al., 2016).

En comparación con el roble común, el roble albar ocupa suelos más ácidos, secos y bien drenados (Eaton et al., 2016; Kohler et al., 2020). Es una especie capaz de habitar terrenos pedregosos y sueltos (de ahí su epíteto latino *petraea*, que significa “de lugares rocosos”) y puede tolerar suelos calizos siempre que presenten buen drenaje (Eaton et al., 2016; Montero y Ruano, 2022). Esta tolerancia se debe, en parte, a su mayor sensibilidad frente a niveles elevados de agua freática y a la humedad estancada (Annighöfer et al., 2015). Soporta un amplio rango de pH edáfico, desde 3.5 hasta 9, y presenta una mayor resistencia a la sequía en comparación con el roble común (Ducouso y Bordács, 2003). Su resiliencia frente a la sequía y las tormentas de ambas especies los posiciona como elementos clave en la futura adaptación de los bosques europeos al cambio climático (Kohler et al., 2020). Las masas de *Quercus petraea*, además, muestran un crecimiento de biomasa leñosa incrementado bajo condiciones de CO₂ elevado, aunque asociado a una menor densidad de la madera (Arsić et al., 2021).

Además, el roble albar desarrolla un sistema radicular profundo, con abundantes raíces secundarias que colonizan eficientemente el suelo (Montero y Ruano, 2022), lo que contribuye a la estabilización del terreno y al mantenimiento de la estructura edáfica en los ecosistemas forestales que conforma.

Desde el punto de vista fenológico, la especie presenta una brotación foliar tardía, que tiene lugar entre finales de abril y principios de mayo, lo que reduce su vulnerabilidad a las heladas primaverales. Sin embargo, si las temperaturas descienden por debajo de los -3 °C, el follaje joven puede sufrir daños significativos (Eaton et al., 2017).

A pesar de mostrar cierta plasticidad ecológica, la regeneración natural de *Quercus petraea* está limitada por su baja tolerancia a la sombra en etapas juveniles. Esta característica condiciona su establecimiento en presencia de especies más tolerantes a la sombra, como el haya (*Fagus sylvatica L.*), y restringe su regeneración a áreas abiertas del dosel o a zonas afectadas por perturbaciones como aclareos o caídas de árboles (Annighöfer et al., 2015; Eaton et al., 2016).



El roble albar es una de las especies caducifolias más relevantes de Europa, tanto desde el punto de vista ecológico como económico (Ducoussو y Bordacs, 2003; Kohler et al., 2020; Arsić et al., 2021). Junto con otras especies del género *Quercus*, forma parte de los bosques templados caducifolios de Europa Central, donde proporciona hábitats adecuados para una alta diversidad biológica, especialmente para especies saproxílicas con baja capacidad de dispersión (Mölder et al., 2019). Además, tiene un gran valor ecológico al sustentar una amplia variedad de insectos —como polillas, himenópteros, entre otros— y al producir bellotas que sirven de alimento para diversas especies de aves y mamíferos, incluyendo arrendajos, ratones, ardillas y cerdos (Eaton et al., 2016).

El sotobosque que se desarrolla bajo el dosel que forma el roble albar suele albergar una gran diversidad de plantas forestales y hongos del suelo (Mölder et al., 2019). La estructura de sus copas permite una notable penetración de la luz hacia los estratos inferiores, lo que favorece la regeneración de muchas especies arbóreas y enriquece la diversidad forestal (Eaton et al., 2016).

Históricamente, la madera de roble ha tenido diferentes usos, desde la construcción naval hasta la elaboración de muebles y barriles (Eaton et al., 2006; Serrada et al., 2008). La madera de *Quercus petraea* destaca por su durabilidad, dureza y resistencia natural a plagas de insectos y hongos gracias a su alto contenido de taninos (Eaton et al., 2006). Las bellotas de estos árboles son usadas como alimento por la fauna silvestre, y aún se utilizan en prácticas tradicionales de alimentación animal en regiones como el País Vasco (Ducoussо y Bordacs, 2003).



Tabla 1. Características y usos del roble albar. A partir de Bravo-Oviedo y Montero (2008).

Características	
Altitud óptima	0–1500 m (de forma excepcional hasta 1800 m)
Precipitación media anual	≥600 mm (mín. verano: 150 mm)
Humedad	Higrófila a mesófila
Temp. media anual	5–15 °C
Temp. mes cálido	15–25 °C
Temp. mes frío	-3 a 7 °C
Régimen térmico	Más termófila que <i>Quercus robur</i> ; sensible a fríos intensos y heladas tardías
Piso bioclimático	Montano
Profundidad suelo	Limitante
Textura suelo	Arenosa, franca o arcillosa (no compactada)
Permeabilidad	Alta
Capacidad de retención de agua	Media a baja
Reacción suelo	Indiferente; suelos calizos habitualmente descarbonatados; no calcífuga
Salinidad tolerada	pH 5.5–8.5
Luz	Media luz
Porte	Árbol de 18–35 m (hasta 40 m), copa regular y amplia, porte esbelto
Raíz	Pivotante profunda, secundarias profundas
Crecimiento	Moderado, 3 m ³ /ha/año
Longevidad	400–500 años
Reproducción sexual	Floración: abril-mayo; fructificación: septiembre-octubre; inicia la generación de sus frutos a los 60–70 años si pertenece a una masa y a los 30–40 años si se encuentra aislado
Reproducción asexual	Brota de cepa
Usos madera	Carpintería interior (suelos, molduras, rodapiés), tonelería, mobiliario, ebanistería, construcción naval y ferroviaria, etc.
Otros usos	Productos medicinales, ramón, taninos, melífero

En la *Tabla 1* se resumen los datos principales sobre hábitat, ecología, caracteres culturales y usos del *Quercus petraea* para facilitar una consulta rápida.

La regeneración natural de los bosques de *Quercus petraea* presenta dificultades, lo que a menudo lleva a recurrir a repoblaciones y actuaciones selvícolas de la mano del ser humano



(Ducouso y Bordacs, 2003). Tradicionalmente, los sistemas de gestión selvícola de *Quercus petraea* se han orientado hacia la obtención de madera de calidad y el mantenimiento de la biodiversidad, combinando enfoques de regeneración natural con tratamientos culturales progresivos. Estos tratamientos suelen incluir cortas de regeneración por aclareo sucesivo o en fajas, acompañadas de clareos y podas de formación que favorecen el desarrollo de fustes rectos y copas equilibradas, manteniendo al mismo tiempo una estructura irregular y mixta del bosque (Nicolescu et al., 2025).

En el marco del presente proyecto, se evalúan tratamientos característicos de la selvicultura en espacios naturales protegidos y se analiza un escenario derivado del abandono progresivo del pastoreo extensivo. Esta situación ha dado lugar a un proceso de lignificación del paisaje, especialmente en zonas altas e inaccesibles, donde la sucesión ecológica ha alcanzado estadios climáticos dominados por robles (*Quercus petraea*, *Quercus pyrenaica* Willd., *Quercus faginea* Lam.). La elevada cobertura de copas (>75%) limita el desarrollo del estrato herbáceo y aumenta el riesgo de incendios debido a la acumulación de biomasa leñosa.

Para revertir esta situación y compatibilizar conservación, prevención de incendios y uso ganadero estacional, se consideran dos variantes: (1) resalveo por lo bajo, actuando sobre el estrato dominado y sumergido, típico en tratamientos de leñas vecinales y prevención de incendios, y (2) resalveo con selección de árboles de porvenir, en el que se favorece una élite de individuos mediante la eliminación de sus competidores inmediatos. En ambos casos, el peso de corta no supera el 25% del área basimétrica, evitando rebrotos excesivos que puedan alterar la estructura del combustible o comprometer los objetivos ecológicos del sistema.

Como ya se dijo en el subapartado anterior, los modelos son una simplificación matemática de los fenómenos que se dan en ambientes naturales con el fin de poder predecir posibles escenarios futuros. En lo que respecta a las masas forestales, los escenarios a predecir pueden ser el crecimiento en altura o diámetro, el volumen de biomasa, el crecimiento dependiendo de variables cambiantes como el clima, la captura de carbono, la producción maderera, etc. (Reque et al., 2008).

Teniendo en cuenta esto, se ejecutarán modelos de predicción y simulación de diferentes escenarios selvícolas para estimar la captura de carbono y la producción de maderas, y así tener una base sólida en la que apoyarnos a la hora de planificar la gestión adecuada de estas masas de *Quercus petraea* en el municipio de Brañosera.



2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Zona de estudio

Las áreas boscosas forman parte del extremo oriental de la comarca natural de la Montaña Palentina, integrada a su vez en el sector oriental de la cordillera Cantábrica. Este municipio está ubicado en un entorno montañoso dominado por el macizo del Valdecebollas y la Sierra de Híjar y alberga una amplia extensión de terrenos comunales —5674 hectáreas— con alto valor paisajístico y natural.

Los bosques son la principal cubierta vegetal en Brañosera, ocupando 1756.88 hectáreas, lo que es aproximadamente el 28.2% de todo el municipio. Dentro de los límites del municipio se encuentra una amplia diversidad de formaciones boscosas en la que predominan abedulares, acebedas, hayedos y robledales, estos últimos suponen la mayor parte de la superficie forestal abarcando unas 635 hectáreas.

Dichos robledales están principalmente formados por *Quercus pyrenaica*, *Quercus robur* y *Quercus petraea* siendo nuestra zona de estudio un área un tanto particular, en la que aparece, junto al roble albar, el rebollo, con el que sufre procesos de hibridación, eventos comunes en la distribución norte del rebollo (Montero y Herrera de Aza, 2022). Dichas masas arbóreas están formadas por individuos que se encuentran en fase de fustal alto. También encontramos en la zona, aunque de forma anecdótica, individuos adultos de haya y de serbal de cazadores (*Sorbus aucuparia* L.).

2.2.2 Selección de escenarios selvícola

Los diseños e itinerarios selvícolas han sido diseñados conforme las necesidades específicas de la zona de estudio y los objetivos del proyecto. Atendiendo a las intervenciones en antiguos espacios silvopastorales (Reque, 2008), el peso de corta nunca superará el 25% del área basimétrica para evitar un rebrote vegetativo masivo que pueda conducir a modelos de combustible problemáticos. Para conseguir un ecosistema adehesado que permita la entrada de carga ganadera, se plantean dos tratamientos:

- Resalteo de conversión por lo bajo (clara por lo bajo) dirigido a la eliminación del estrato arbóreo dominado y sumergido.
- Resalteo de conversión con selección de árboles de porvenir (clara de selección) en la que una élite de árboles, atendiendo a su vigor, calidad y porte, son favorecidos directa y positivamente eliminando sus directos competidores de copa.



Partiendo de estas premisas y siguiendo las pautas que proponen tanto Crespo y García (2013) como la ORDEN del 9 de febrero 2021 de Galicia para el establecimiento de sistemas adehesados en masas de rebollo, se realizaron las simulaciones para los itinerarios diseñados (Tabla I) en cuatro diferentes acciones de gestión con una proyección de 100 años:

- Control (No se simuló ningún tratamiento).
- Clara por lo bajo.
- Clara de selección de árboles de porvenir.
- Tratamiento mixto: combinación de clara por lo bajo y clara de selección.



Escenario	Objetivo	Edad (años)	Tipo de tratamiento	Intensidad de corta (%)	Árboles a preservar (%)
Control	Evolución natural	0	Proyección	0	-
		100	Revisión final	0	-
Resalteo por lo bajo	Reducir biomasa del estrato bajo, facilitar pasto	-	Corta por lo bajo	25 (máx por intervención)	-
		0	"	25	-
		20	"	25	-
		40	"	25	-
		60	"	25	-
		80	"	25	-
		100	Corta por lo bajo y revisión final	25	-
Resalteo con árboles de porvenir	Formar una masa estable con individuos robustos, y permitir pasto filtrado	-	Clara de selección	25 (máx por intervención)	30
		0	"	25	30
		20	"	25	30
		40	"	25	30
		60	"	25	30
		80	"	25	30
		100	Clara de selección y revisión final	25	30
Mixto	Comenzar con reducción de biomasa, y después seleccionar árboles dominantes	-	Resalteo por lo bajo + resalteo con árboles de porvenir	25 (máx por intervención)	30
		0	Corta por lo bajo	25	-
		20	Clara de selección	25	30
		40	Corta por lo bajo	25	-
		60	Clara de selección	25	30
		80	Corta por lo bajo	25	-
		100	Clara de selección y revisión final	25	30

Tabla I. Resumen de los escenarios silvícolas simulados en este estudio.



3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos con SIMANFOR permitieron evaluar los efectos de los distintos itinerarios selvícolas propuestos sobre la estructura y producción del bosque de *Quercus petraea*. Con la aplicación del modelo se estimaron variables consideradas importantes para la evaluación de los cada uno de los diferentes escenarios, como el volumen de madera con corteza, el área basimétrica y la densidad de la masa, a partir de un único inventario inicial, conforme a los requerimientos del modelo utilizado.

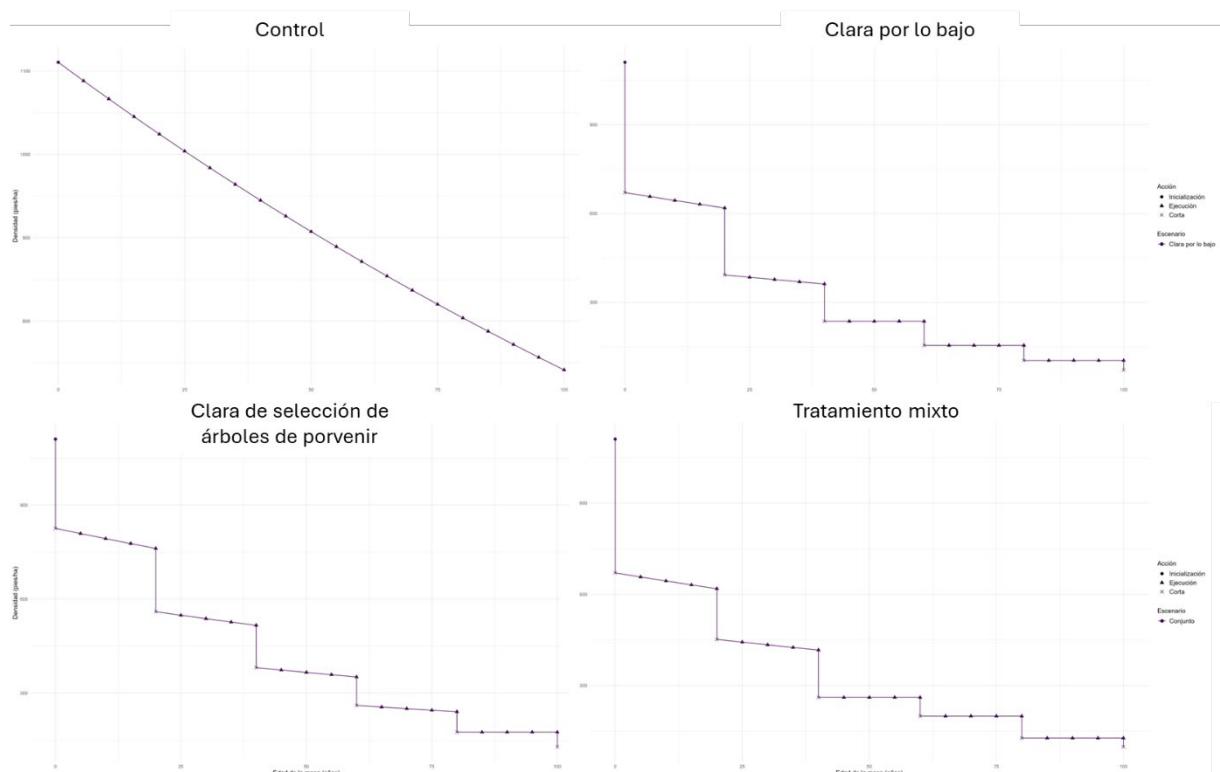


Figura 1.

Todos los itinerarios selvícolas simulados partieron del mismo inventario inicial, con una densidad de masa de 1110.55 pies/ha obtenida a través del Inventario Forestal Nacional. A partir de esta condición, la evolución de la densidad respecto a edad de la masa mostró patrones diferenciados en función del tipo de tratamiento aplicado (Figura 1). En el escenario Control, la densidad disminuyó de forma progresiva y casi lineal, alcanzando los 741 pies/ha al final del periodo simulado. En contraste, los escenarios con claras presentaron descensos más abruptos asociados a las intervenciones: la 'Clara por lo bajo' redujo la densidad hasta 72 pies/ha, la 'Clara de selección de árboles de porvenir' hasta 129 pies/ha y el 'Tratamiento mixto' hasta 127 pies/ha. Estos resultados reflejan que, mientras el Control mantiene una



masa densa y estable, los tratamientos de manejo intensivo generan estructuras más claras y abiertas a lo largo del tiempo.

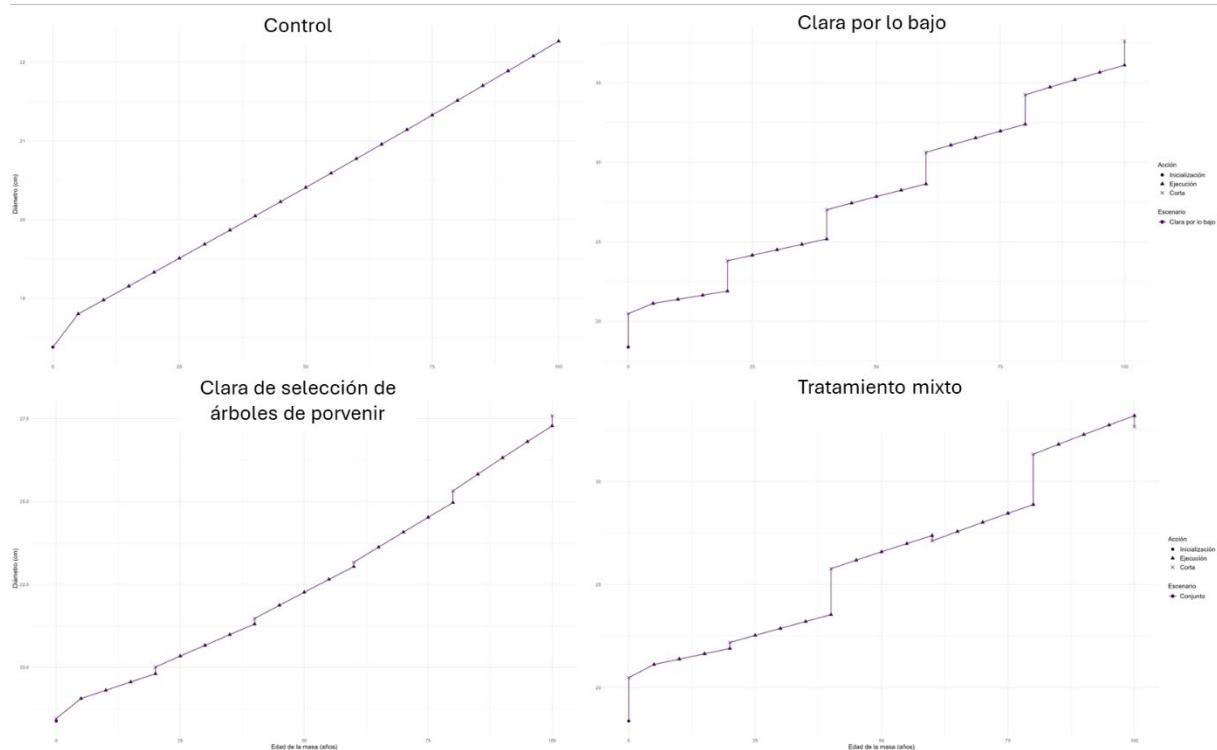


Figura 2.

Para el diámetro medio de la masa arbolada, el modelo proyectó trayectorias diferenciadas entre tratamientos (Figura 2), complementarias a la evolución de la densidad. En el Control, el incremento fue progresivo, alcanzando un valor final de 22,27 cm. La clara por lo bajo generó el mayor crecimiento, con un diámetro medio de 37,62 cm, mientras que la clara de selección de árboles de porvenir presentó un aumento intermedio y constante, con 27,59 cm. El tratamiento mixto mostró una dinámica combinada de incrementos graduales y aumentos tras las intervenciones, alcanzando un diámetro medio final de 32,65 cm.

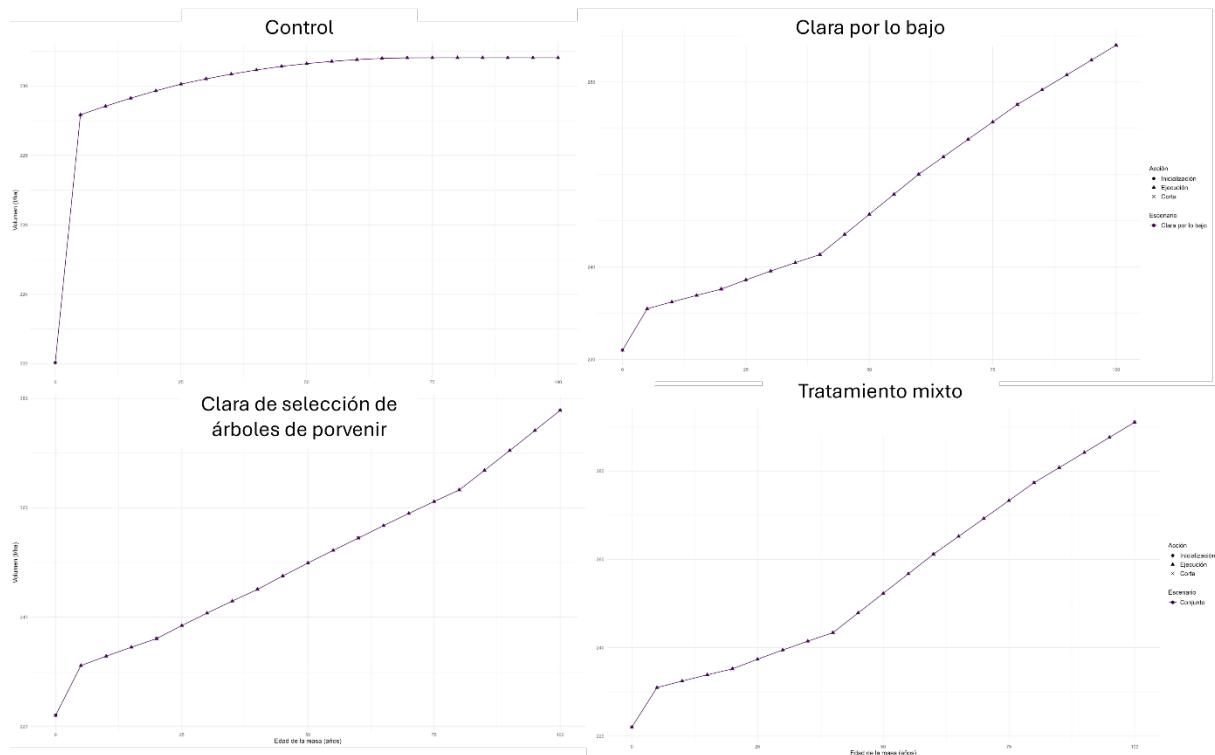


Figura 3.

El valor inicial de biomasa fue de 222,03 t/ha, común para todos los escenarios. Tras una respuesta inicial compartida, el itinerario de Control mostró una evolución estable, alcanzando aproximadamente 230,8 t/ha al final del periodo simulado. Por su parte, los tratamientos de clara por lo bajo, selección de árboles de porvenir y tratamiento mixto presentaron una tendencia ascendente más acusada, reflejando una mayor acumulación de biomasa a lo largo del tiempo. Las diferencias entre estos tres tratamientos se evidencian, aunque no de forma marcada, en los valores finales alcanzados: 288 t/ha para la clara por lo bajo, 278 t/ha para la clara de selección de árboles de porvenir y un máximo de 292 t/ha para el tratamiento mixto.

3.1 CÁLCULO DE CARBONO FIJADO

La conversión de biomasa a carbono se realizó aplicando las siguientes fórmulas estándar que se usan de forma generalizada para convertir la biomasa primero en carbono y luego en CO₂ equivalente:

$$C = WT * fc$$



$$CO_2 = wt * 0.484 * \frac{44}{12}$$

donde:

- WT = biomasa acumulada (t/ha)
- fc = factor de conversión biomasa–carbono para *Quercus petraea* (Ibáñez et al., 2002)
- C = carbono fijado (t C/ha)
- CO_2 = dióxido de carbono equivalente (t CO_2 /ha)

El factor de conversión indica que el 48,4 % de la biomasa seca corresponde a carbono. Posteriormente, la conversión a CO_2 se calcula considerando la relación estequiométrica entre el carbono y el dióxido de carbono ($44/12 \approx 3,67$).

3.2 RESULTADOS DE BIOMASA Y CARBONO FIJADO

La biomasa inicial simulada para las masas forestales fue de **220,03 t/ha**, equivalente a **106,5 t C/ha** (≈ 391 t CO_2 /ha). A lo largo del periodo simulado, los escenarios selvícolas muestran una evolución diferenciada según el tipo de tratamiento aplicado.

El escenario Control mantuvo un crecimiento estable, alcanzando **230,8 t/ha** al final de la simulación. Los tratamientos de clara por lo bajo, selección de árboles de porvenir y tratamiento mixto registraron mayores incrementos, con valores finales de **288 t/ha**, **278 t/ha** y **292 t/ha**, respectivamente.

Al aplicar el factor de conversión, los valores equivalentes de carbono fijado y CO_2 acumulado son los que se muestran en la Tabla 1.

Estos resultados ponen de manifiesto que las actuaciones selvícolas que reducen la competencia entre individuos y promueven el crecimiento de árboles dominantes aumentan significativamente la fijación de carbono respecto al escenario sin intervención.

En promedio, los tratamientos de clara representan un incremento del 23–27 % en carbono fijado respecto al escenario de control.



Tabla 1. Biomasa, carbono fijado y CO₂ equivalente al final de la simulación (t/ha)

Escenario selvícola	Biomasa (t/ha)	Carbono fijado (t C/ha)	CO ₂ equivalente (t CO ₂ /ha)
Inicial (común a todos)	220,03	106,5	391,0
Control	230,8	111,8	410,1
Clara por lo bajo	288,0	139,4	511,5
Clara de selección de árboles de porvenir	278,0	134,6	494,0
Tratamiento mixto	292,0	141,3	518,8



4. BIBLIOGRAFÍA

Annighöfer, P., Beckschäfer, P., Vor, T., & Ammer, C. (2015). Regeneration patterns of European oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in dependence of environment and neighborhood. *PLOS ONE*, 10(8), e0134935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134935>

Arsić, J., Stojanović, M., Petrovičová, L., Noyer, E., Milanović, S., et al. (2021). Increased wood biomass growth is associated with lower wood density in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. saplings growing under elevated CO₂. *PLOS ONE*, 16(10), e0259054. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259054>

Bravo-Oviedo, A., & Montero, G. (2008). Descripción de los caracteres culturales de las principales especies forestales de España. En: Serrada, R., Montero, G., & Reque, J. A. (Eds.), *Compendio de selvicultura aplicada en España*. INIA & Fundación Conde del Valle de Salazar, pp. 1039–1114.

Crespo, A., & García, I. (2013). *Guía de gestión para los rebollares (Quercus pyrenaica Willd.)*. Actas 6º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Vitoria-Gasteiz.

Ducouso, A., & Bordács, S. (2003). *Quercus robur / Quercus petraea*.

Eaton, E. G. S. D. J., Caudullo, G., Oliveira, S., & De Rigo, D. (2016). *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*, 160–163.

Kremer, A., Dupouey, J. L., Deans, J. D., Cottrell, J., Csaikl, U., Finkeldey, R., ... & Badeau, V. (2002). Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. is stable across western European mixed oak stands. *Annals of Forest Science*, 59(7), 777–787.

Mölder, A., Meyer, P., & Nagel, R.-V. (2019). Integrative management to sustain biodiversity and ecological continuity in Central European temperate oak (*Quercus robur*, *Q. petraea*) forests: An overview. *Forest Ecology and Management*, 437, 324–339. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.006>

Montero, G., & Herrera de Aza, C. (2022). Fichas de impactos, vulnerabilidad y oportunidades de adaptación al cambio climático para ecosistemas arbolados: Rebollares y quejigares. En: Bravo, F. (coord.), *Adaptación al cambio climático: directrices para la adaptación de la gestión del patrimonio natural y la política forestal al cambio climático en Castilla y León*. Universidad de Valladolid, 507 pp.



Montero, G., & Ruano, I. (2022). Fichas de impactos, vulnerabilidad y oportunidades de adaptación al cambio climático para ecosistemas arbolados: Robledales. En: Bravo, F. (coord.), *Adaptación al cambio climático: directrices para la adaptación de la gestión del patrimonio natural y la política forestal al cambio climático en Castilla y León*. Universidad de Valladolid, 507 pp.

Nicolescu, V. N., Vor, T., Brus, R., et al. (2025). Management of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), a major forest species in Europe. *Journal of Forestry Research*, 36, 78. <https://doi.org/10.1007/s11676-025-01868-1>

Orden de 9 de febrero de 2021 por la que se modifica el anexo I de la Orden de 19 de mayo de 2014 por la que se establecen los modelos silvícolas o de gestión forestal orientativos y referentes de buenas prácticas forestales para los distritos forestales de Galicia.

Reque, J. A. (2008). Selvicultura de *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. y *Quercus robur* L. En: Serrada, R., Montero, G., & Reque, J. A. (eds.), *Compendio de selvicultura aplicada en España*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid, pp. 745–772.

Serrada, R., Montero, G., & Reque, J. A. (2008). *Compendio de selvicultura aplicada en España*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

Ibáñez, J. J., Vayreda, J., & García, C. (2002). Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Cataluña. En F. Bravo, M. del Río, & C. del Peso (Eds.), *El inventario forestal nacional: elemento clave para la gestión forestal sostenible* (pp. 67–77).