

Evaluación socioeconómica del MixForChange: impacto en los servicios ecosistémicos

Acción D4



Junio 2022

Proyecto LIFE MixForChange: Innovative management strategies for climate change adaptation of mixed subhumid Mediterranean forests. 09/2016 - 06/2022

Evaluación socioeconómica del MixForChange: impacto en los servicios ecosistémicos

Beneficiarios del proyecto: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC; coordinador), Associació de Propietaris Montnegre-Corredor (APMC), Associació de Propietaris Forestals Serra de Bellmunt Collsacabra (APFSBE) y Centre de la Propietat Forestal (CPF).

Colaborador del proyecto: Diputación de Barcelona (DIBA)

www.mixforchange.eu

Autores del informe: Eduardo Collado, Míriam Piqué, Mario Beltrán, Lena Vilà, Jaime Coello. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC), Ctra. Sant Llorenç de Morunys, km 2, Solsona, 25280, España

Cita recomendada: Collado, E.; Piqué, M.; Beltrán, M.; Vilà, L; Coello, J. 2021. *Evaluación socioeconómica del MixForChange: impacto en los servicios ecosistémicos*. Life MixForChange, 34 p.

Agradecemos a Miquel de Cáceres su apoyo y supervisión en los análisis del balance de agua.

El proyecto LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) está financiado por el programa LIFE de la Unión Europea. <http://www.mixforchange.eu>

Esta publicación refleja únicamente el punto de vista de los autores. La Comisión Europea/EASME no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

Executive summary

This document describes the methodology and main results obtained from assessing the effects of two forest management approaches on various forest ecosystem services.

Firstly, we simulate (description and characterisation from a common starting point) the application, in 4 different mixed stands (dominated by either holm oak, chestnut, oak and pine), of one silvicultural intervention based on two possible approaches:

- Adaptive and close-to-nature (MixForChange) silviculture (MFC): its main feature is the selectiveness and low intensity of the interventions aiming to achieve a diversification of species and structures, and a promotion of the trees with highest present or potential value from an economic and/or environmental point of view. The aim is to enhance the ecological and economic sustainability in the medium and long term.
- Conventional (or traditional) silviculture (CONV): we simulated the most common silvicultural approaches in the working area, which aims to achieve an economic sustainability (or, at least, to minimise the negative balance) in each intervention, while achieving an ecological sustainability.

Secondly, we analyse the effects of both types of intervention on selected indicators related to climate change adaptation and mitigation: forest vulnerability to fire, forest biodiversity, water availability and carbon sequestration.

The main conclusions are the following:

- Holm oak stand: MFC has a stronger short-term effect in reducing fire vulnerability than CONV, because of the reduced load of debris produced. Moreover, MFC allows keeping a higher level of IBP (biodiversity indicator) than CONV. In the other hand, CONV results in higher blue water availability and a higher C fixation rate.
- Chestnut stand: CONV reduces more intensely the fire vulnerability than MFC, thank to the reduction of vertical strata. Both approaches reduced slightly IBP indicator in a similar manner. CONV led to higher blue water production, while MFC led to higher C fixation rate.
- Oak stand: CONV reduces more intensely the fire vulnerability than MFC, thanks to the reduction of vertical strata. However, MFC barely affected IBP, while CONV reduced this factor more noticeably. There were no differences between both management options with regard to blue water availability and C fixation rate.
- Pine stand: both management options kept a low level of fire vulnerability, while CONV tended to result in a particularly low risk. MFC did not reduce IBP values, while CONV was slightly detrimental. There were no differences between both management options with regard to blue water availability and C fixation rate.

Contenido

1. Introducción	5
2. Materiales y métodos	5
2.1. Escenarios de gestión forestal	5
a) Encinar (<i>Quercus ilex</i>)	8
b) <i>Castanea sativa</i>	11
c) <i>Quercus spp.</i>	13
d) <i>Pinus spp.</i>	16
2.2. Indicadores de servicios ecosistémicos	18
3. Resultados	20
3.1. Efectos en la vulnerabilidad a incendios	20
3.2. Efectos en la biodiversidad	22
3.3. Efectos en el balance hídrico	23
3.4. Efectos en la tasa de fijación de carbono	25
4. Conclusiones	27
5. Referencias	29
6. Anejos	30

1. Introducción

El proyecto Life MixForChange tiene como objetivo principal desarrollar, implementar y demostrar nuevas técnicas de gestión forestal para aumentar la resiliencia y las capacidades intrínsecas de adaptación al cambio climático del bosque mediterráneo sub-húmedo. Para ello se aplican modelos innovadores de gestión forestal en encinares, castaños, robledales y pinares (acciones C1, C2, C3 y C4, respectivamente) en 197 ha demostrativas en Catalunya. La aplicación de estos modelos innovadores genera un impacto tanto a nivel de ecosistema forestal como a nivel socioeconómico, el cual se pretende evaluar a través de las acciones D2, D3 y D4 del proyecto.

La acción D4 es la encargada de evaluar los resultados de la gestión forestal innovadora MixForChange (GFI) frente a una hipotética gestión forestal tradicional o convencional (GFC), en dos aspectos:

- Socioeconómico: a través del entregable “Evaluación socioeconómica del MixForChange: impacto económico derivado de los productos”.
- Provisión de servicios ecosistémicos. Este documento se centra en este segundo aspecto, mediante: (i) la selección de varias parcelas representativas de cada tipología forestal del proyecto, (ii) la caracterización o simulación de una gestión forestal “convencional” en dichas parcelas, y (iii) el análisis de ambos enfoques en base a una serie de indicadores relacionados con servicios ecosistémicos seleccionados por su relevancia como indicadores directos o indirectos de la capacidad de adaptación y mitigación de estos bosques respecto al cambio climático: vulnerabilidad de la a incendios, capacidad de albergar biodiversidad, disponibilidad de agua y fijación de C.

2. Materiales y métodos

2.1. Escenarios de gestión forestal

La información de partida para la aplicación de la GFI (datos empíricos) y la simulación de la GFC (basada en conocimiento experto) son los inventarios forestales D2 y D3 realizados en 6 rodales y 9 parcelas, que abarcan las cuatro tipologías de gestión (Tabla 1). Las parcelas permanentes de inventario se localizan en puntos donde se espera que las actuaciones generarán un cambio marcado en la estructura de la masa, pensando en captar el efecto a microescala y no tanto en representar las condiciones globales del rodal.

Tabla 1: Rodales, y sus respectivas parcelas, seleccionados para evaluar la gestión forestal innovadora y convencional en los servicios ecosistémicos.

Rodales	Parcelas	Macizo	Tipología forestal
C1.01	C1.01.P2	Montnegre-Corredor	Encinar
C1.03	C1.03.P1	Montnegre-Corredor	Encinar
C2.13	C2.13.P1, C2.13.P2	Montseny	Castañar
C3.01	C3.01.P1	Montnegre-Corredor	Robledal
C3.03	C3.03.P1	Montnegre-Corredor	Robledal
C4.05	C4.05.P1, C4.05.P2, C4.05.P5	Bellmunt-Collsabra	Pinar

A continuación, se describen las particularidades de los dos escenarios de gestión:

- Gestión forestal innovadora (GFI): integra principios de adaptación al cambio climático con intervenciones selvícolas detalladas (basadas en criterios de selvicultura naturalística), que permitan conseguir una sostenibilidad económica y ecológica en la gestión. La selvicultura adaptativa busca incrementar la resistencia y resiliencia del sistema frente a las principales perturbaciones inducidas por el cambio climático en estas condiciones, especialmente; un aumento del déficit hídrico y un incremento del riesgo de incendios forestales. Para ello, se busca aumentar la vitalidad y la estabilidad individual y colectiva, reducir la vulnerabilidad estructural frente a grandes incendios forestales y mantener la diversidad de especies y estructuras. Las características principales de la GFI fueron:
 - Estrato arbóreo: entresaca o clara selectiva incorporando criterios de selvicultura de árbol individual para el fomento de árboles vigorosos con potencial para la producción de madera de calidad y/o con interés para la biodiversidad. Sobre aquellas especies con varios rebrotes por cepa, incluso los pies no inventariables (p. ej., encina, castaño, roble y también brezo y madroño de porte arbóreo), se realiza un resalveo dejando 1 - 3 brotes/cepa según su estabilidad. En el caso de los castañares la selección de rebrotes consiste en la extracción de aproximadamente mitad de los brotes existentes en cada cepa. En general, la intensidad de corta se define en base a la biomasa inicial, al potencial productivo del rodal y a las decisiones estratégicas sobre la modulación de las dinámicas naturales respecto a la necesidad de aumentar o disminuir los niveles de biomasa totales y sobre la estructura de la vegetación. Se suele definir un nivel absoluto de biomasa a extraer con la intervención (en volumen o en área basimétrica), que sobre el terreno se plasma de manera irregular como consecuencia de la definición a microescala de la actuación (árbol/grupo de árboles). En todo caso, de manera global suelen ser intervenciones de baja intensidad, con valores de referencia de la extracción de área basimétrica entre el 20 y 30%.
 - Estrato arbustivo: desbroce selectivo y parcial (manteniendo un 25-30% de cobertura, de media) con el objetivo de favorecer especies de alto valor para la biodiversidad y modificar la estructura del combustible (rotura de la continuidad vertical) para reducir la vulnerabilidad ante incendios y la sequía.

- Gestión forestal convencional (GFC): consiste en cortas centradas en las clases diamétricas intermedias para la obtención de un solo producto (p.ej., leñas, madera para biomasa o sierra para embalajes). Es decir, son cortas centradas en el tipo de producto que representa la mayor cantidad extraíble en una intervención. Los tratamientos se diseñan a nivel de masa y suponen una reducción de la competencia, con cierta tendencia a favorecer los pies más vigorosos a igualdad de criterios dimensionales a la hora de cortar. No se aplican criterios de selvicultura de árbol individual y tampoco se fomenta la presencia de frondosas esporádicas (lo que supondría la diversificación de la producción, cosa que se penaliza en este tipo de gestión). La promoción de un solo producto da lugar a masas más simplificadas a nivel de estructura y de especies. La GFC tiene como objetivo prevalente buscar la rentabilidad económica de la intervención a realizar a corto plazo. Los tratamientos que definen la GFC son:

- Estrato arbóreo: entresaca o clara de intensidad moderada o alta, aplicada a nivel de masa. Sobre aquellas especies con varios rebrotes por cepa, incluso los pies no inventariables (p. ej., encina, castaño, roble y también brezo y madroño de porte arbóreo), se realiza un resalveo dejando generalmente 1 - 2 brotes/cepa según su estabilidad. La intervención se define por el porcentaje de área basimétrica a extraer y por el área basimétrica total a mantener después de intervención, según las costumbres o prácticas habituales en las mismas formaciones forestales, sin atender especialmente a las características intrínsecas de cada rodal en concreto. Se busca maximizar la extracción de madera de las características adecuadas para el producto objetivo prevalente. La intervención se intenta realizar de una manera homogénea en el rodal, definiendo diámetros y distancias entre árboles para ejecutar las cortas. En el caso de los castaños la intensidad de corta se suele determinar a escala de cepa, marcando un número de pies por cepa a mantener (eliminando el resto).
- Estrato arbustivo: desbroce sistemático. Se actúa sobre el 100% de las especies arbustivas dejando algunos pies puntuales de arbustos menos pirófitos o de interés productivo como el madroño. En rodales de escaso recubrimiento arbustivo o baja productividad no se realiza desbroce con el objetivo de reducir costes.

A continuación, se describe, a nivel de tipología forestal y de rodal, los tratamientos selvícolas específicos planificados y llevados a cabo en la GFI y simulados en GFC. Los tratamientos GFI son generalmente actuaciones de transición o adaptación hacia los principios selvícolas que los inspiran, es decir, que al no presentar los rodales en el momento inicial las condiciones ideales para esta silvicultura, no se aspira a conseguir, con una sola intervención, la transformación completa.

a) Encinar (*Quercus ilex*)

- C1.01

- GFI: Clara selectiva sobre *Quercus ilex* (tipo entresaca), centrada en las CD 20 a 30, junto con resalveo de *Q. ilex* no inventariables y de *Castanea sativa*, dejando los mejores 1 - 2 rebrotes/cepa, siempre actuando sobre cepas con pies vivos. Se decide extraer una biomasa total equivalente a 10 m²/ha en AB, con mayor intensidad donde se concentren los árboles de valor de mayores dimensiones y con menor intensidad en zonas del rodal menos capitalizadas. Esto equivale a una AB total a extraer media del 30%, pensando en una próxima intervención en 8 años. Durante la clara y el resalveo se eliminan pies de *Q. ilex*, *C. sativa* o *Populus tremula* que sean competidores directos por copa de pies inventariables (Dn > 7,5 cm) de *Prunus avium*, otras frondosas de interés y pies de futuro de *Q. ilex* (1 - 2 competidores por árbol a liberar). Desbroce selectivo eliminando el matorral necesario para facilitar la accesibilidad de los trabajos, junto con un resalveo de cepas de *Erica arborea* y *Arbutus unedo* donde se mantienen 1 - 3 rebrote/cepa, siempre sin dejar más de 5 m sin desbrozar. Se mantienen los pies de especies productoras de fruto carnoso que no dificulten el desarrollo de pies de especies arbóreas. Se cortan pies no inventariables (Dn < 7,5 cm) malformados de *P. avium* y no se actúa sobre pies de otras especies arbóreas.
- GFC: Corta por entresaca para la producción de leña de *Q. ilex*, roble y *A. unedo*, de diferentes tamaños, pero centrada en la corta de parte de las encinas de mayor tamaño. Se resalvean las cepas con tres o más pies, cortando solo aquellos que pueden tener valor de mercado (Dn > 15 cm) y puntualmente otros dañados por el apeo de los grandes. El AB propuesto a extraer es del 33% del AB inicial, con valor de referencia de 20 m²/ha. Se corta toda la madera muerta en pie y se extrae la que tiene valor de mercado. Sin desbroce y sin cortar otras especies.

Finalmente, el AB extraída con la GFI (8,8 m²/ha, cerca del 28%) se ha ajustado al AB a extraer propuesto inicialmente, observándose una ligera reducción proporcional en todas las clases diamétricas, a excepción de la CD 15 (Tabla 2, Figura 1). En el caso de la GFC, se ha mostrado una ligera reducción proporcional en todas las clases, manteniendo siempre la intensidad de corta propuesta (33% aprox.). En comparación con la GFI, la GFC ha eliminado menos pies de diámetros pequeños (CD 5-10), para intensificar la corta de pies de grandes dimensiones (CD 25-30), observándose finalmente una mayor reducción de densidad de pies mediante la GFI (Tabla 2).

- C1.03:

- GFI: Clara selectiva sobre *Q. ilex* (tipo entresaca), centrada en las CD 20 a 35 y eliminando algunos pies de copa muy desarrollada pero sin un gran diámetro de tronco, junto con resalveo de *Q. ilex* no inventariables y resalveo de *C. sativa*, dejando los mejores 1-2 rebrotes/cepa, siempre actuando sobre pies vivos. Se decide extraer una biomasa total equivalente a 8 m²/ha en AB, con mayor intensidad onde se concentren los árboles de valor de mayores dimensiones y con menor intensidad en zonas del rodal menos capitalizadas. Esto equivale a una AB total a extraer del 30%, pensando en una próxima intervención en 8 años. Durante la clara y el resalveo se eliminan pies de *Q. ilex* o *C. sativa* que sean competidores directos por copa de pies inventariables (Dn > 7,5 cm) de *P. avium*, *Sorbus* sp., otras frondosas de interés y pies de futuro de *Q. ilex* (1-2 competidores por árbol a liberar). También se eliminan pies competidores de *Q. suber*. Desbroce selectivo eliminando el matorral necesario para facilitar la accesibilidad de los trabajos, junto con un resalveo de cepas de *E. arborea* y *A. unedo* donde se mantiene 1 rebrote/cepa, siempre sin dejar más de 5 m sin desbrozar. Se mantienen los pies de especies productoras de fruto carnoso que no dificulten el desarrollo de pies de especies arbóreas. Se cortan pies no inventariables (Dn < 7,5 cm) malformados de *P. avium* y *Sorbus* sp. y no se actúa sobre pies de otras especies arbóreas.
- GFC: Corta por entresaca para la producción de leña de *Q. ilex*, roble y *A. unedo*, de diferentes tamaños, pero centrada en la corta de parte de las encinas de mayor tamaño. Se resalvean las cepas con tres o más pies, cortando solo aquellos que pueden tener valor de mercado (Dn > 15 cm) y puntualmente otros dañados por el apeo de los grandes. AB a extraer del 33%, con valor de referencia de 20 m²/ha. Se corta toda la madera muerta en pie y se extrae la que tiene valor de mercado. Sin desbroce y sin cortar otras especies.

Finalmente, el AB extraída real con la GFI (9,7 m²/ha, cerca del 30%) se ha ajustado al AB a extraer propuesta inicialmente, observándose una reducción proporcional en todas las clases diamétricas, a excepción de la CD 40 (i.e., no se cortó ningún pie de la CD 40), si bien una parte importante del peso de la corta lo ha sufrido las clases más pequeñas (CD 5-10) (Tabla 2, Figura 1). En el caso de la GFC, se ha mostrado generalmente una reducción proporcional en todas las clases, manteniendo siempre la intensidad de corta propuesta (33% aprox.). En comparación con la GFI, la GFC ha eliminado menos pies de diámetros pequeños (CD 5-10), para intensificar la corta de pies de grandes dimensiones (CD 35-40), observándose finalmente una mayor reducción de densidad de pies con la GFI (Tabla 2).

Tabla 2: Caracterización selvícola de las parcelas de encina antes e inmediatamente después de la gestión forestal innovadora y convencional. La intensidad de la intervención, en base a N y AB, se muestra entre paréntesis.

Parcelas	Pre-intervención				Gestión innovadora (GFI; post-intervención)				Gestión convencional (GFC; post-intervención)*			
	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)
C1.01.P2	1.238	16,6	31,9	10,4	884 (29%)	17,2	23,1 (28%)	10,8	910 (26%)	17,2	21,0 (34%)	9,9
C1.03.P1	1.149	18,1	32,1	10,1	622 (46%)	20,3	22,4 (30%)	10,4	904 (21%)	17,5	21,8 (32%)	9,1

Nota: ‘N’ es la densidad de pies vivos inventariables (i.e., pies de diámetro normal > 7,5 cm), ‘Dg’ es el diámetro medio cuadrático de pies vivos inventariables de toda la masa, ‘AB’ es el área basimétrica de los pies vivos inventariables, y ‘Hm’ es la altura media.

* Datos obtenidos de la parametrización de una gestión convencional sobre la masa inicial (‘Pre-intervención’).

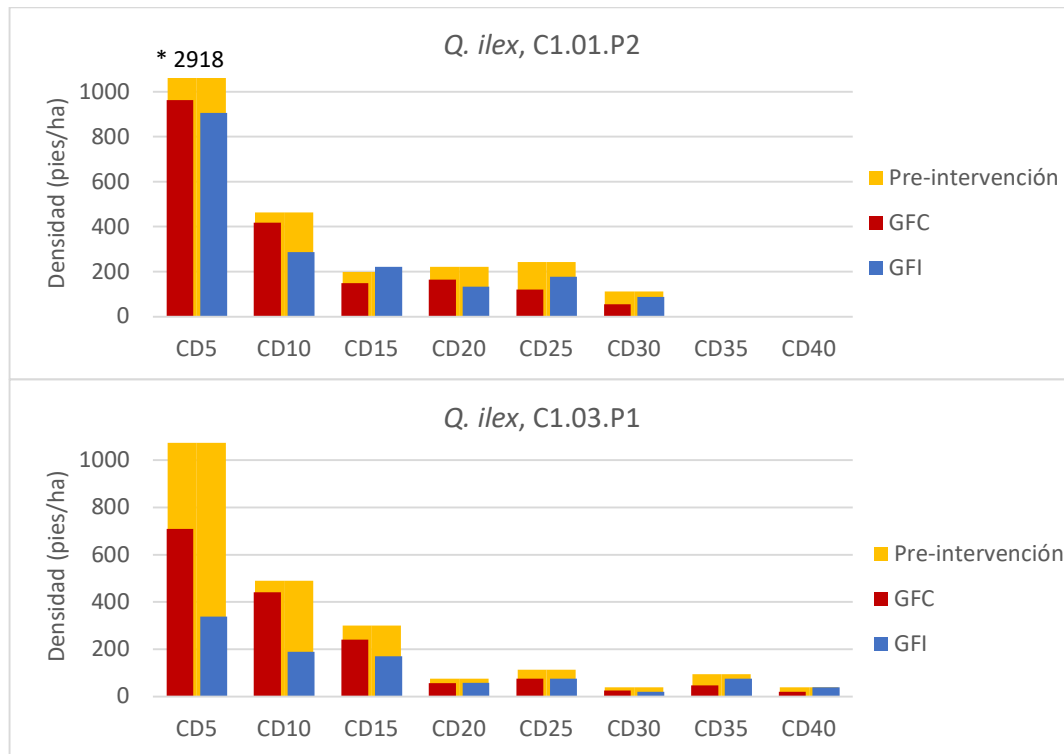


Figura 1: Distribución diamétrica de las parcelas de encina antes (‘Pre-intervención’) y después de la gestión forestal innovadora (‘GFI’) y convencional (‘GFC’). Los datos de ‘GFC’ son estimados a partir de la simulación de una gestión convencional sobre la masa antes de la intervención. *Densidad de pies de la CD5 en la masa inicial.

b) *Castanea sativa*

- C2.13

- GFI: Resalveo de *Castanea sativa* dejando los mejores 1 - 2 rebrotes/cepa. En las cepas muy afectadas por enfermedad sin pies sanos se cortan todos los pies. En las cepas con un pie sano se mantiene solo éste. En las cepas con 2 o más pies sanos se mantienen 2 pies/cepa. Densidad de pies de castaño a mantener mínima de 800 pies/ha. Clara sistemática sobre los bosquetes de *Populus tremula* eliminando 1 de cada 2 pies, con una densidad final aproximada de 1.500 pies/ha. Durante el resalveo y la clara se eliminan pies que sean competidores directos por copa de pies inventariables ($D_n > 7,5$ cm) de *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium*, y otros planifolios de futuro (1 - 2 competidores por árbol a liberar). En ningún caso se cortan pies de *Robinia pseudoacacia*. Es un rodal con un dosel arbóreo heterogéneo espacialmente y se decide generar un cambio en la estructura alrededor de los árboles más grandes y vitales, por lo que la intensidad será mayor en las zonas con acumulación de árboles de valor de mayores dimensiones y menor en las zonas con abundancia de árboles intermedios y homogéneos. Se decide extraer una biomasa total equivalente a 12 m²/ha en AB, siempre sin superar el 35% de AB a extraer, pensando en una próxima intervención en 7 años. Desbroce selectivo eliminando el matorral que supere 1,3 m. En el caso de cepas de cepas de *Erica arborea* y *Arbutus unedo* se mantiene 1 - 3 rebrotes/cepa. Se mantienen los pies de especies productoras de fruto carnoso que no dificulten el desarrollo de pies de especies arbóreas. No se actúa sobre pies de especies arbóreas.
- GFC: Resalveo de cepas de mayor tamaño, a 1 pie/cepa, donde se mantienen los pies con posibilidad de madera de sierra a 7 años vista, más corta a matarrasa de las cepas sin pies aptos para sierra donde se puedan extraer productos de varas y postes. Resto de cepas sin intervención. Sin desbroce. Toda la madera muerta en pie se corta, y sólo se extrae la que tiene valor de mercado.

Finalmente, el AB extraída con la GFI (muy variable por zonas, con una media general de 16%) se ha ajustado al AB a extraer propuesta inicialmente (mantenimiento de un mínimo de 20 m²/ha), observándose una fuerte reducción de las clases diamétricas más pequeñas (CD 5-10 y, en menor medida, CD 15) (Tabla 3, Figura 2). Esta reducción de pies pequeños fue más marcada con la GFC (25% aprox. de AB extraída).

Tabla 3: Caracterización selvícola de las parcelas de castaño antes e inmediatamente después de la gestión forestal innovadora y convencional. La intensidad de la intervención, en base a N y AB, se muestra entre paréntesis.

Parcelas	Pre-intervención				Gestión innovadora (GFI; post-intervención)				Gestión convencional (GFC; post-intervención)*			
	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)
C2.13.P1	1.560	10,7	23,6	12,5	1.241 (20%)	11,6	19,9 (16%)	12,5	885 (43%)	16,3	18,5 (22%)	13,8
C2.13.P2	1.369	14,2	31,2	13,4	1.082 (21%)	15,4	26,2 (16%)	13,4	783 (43%)	19,2	22,7 (27%)	14,7

Nota: ‘N’ es la densidad de pies vivos inventariables (i.e., pies de diámetro normal > 7,5 cm), ‘Dg’ es el diámetro medio cuadrático de pies vivos inventariables de toda la masa, ‘AB’ es el área basimétrica de los pies vivos inventariables, y ‘Hm’ es la altura media.

* Datos obtenidos de la parametrización de una gestión convencional sobre la masa inicial (‘Pre-intervención’).

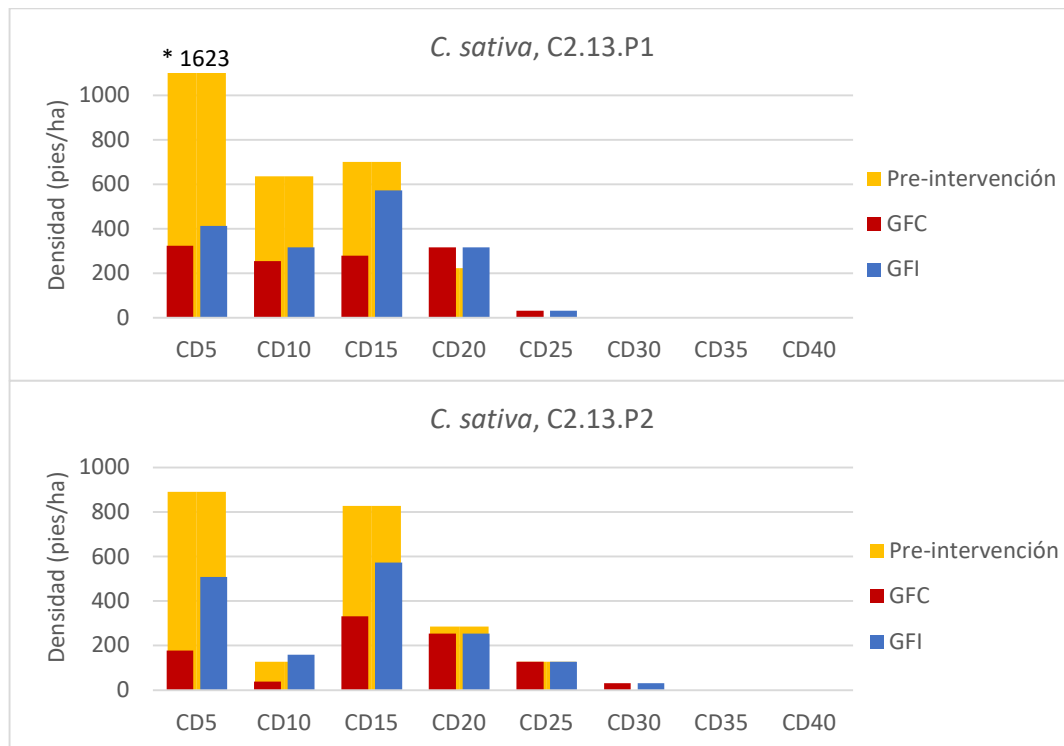


Figura 2: Distribución diamétrica de las parcelas de castaño antes (‘Pre-intervención’) y después de la gestión forestal innovadora (‘GFI’) y convencional (‘GFC’). Los datos de ‘GFC’ provienen de la simulación de una gestión convencional sobre la masa antes de la intervención. *Densidad de pies de la CD5 en la masa inicial.

c) *Quercus spp.*

- C3.01

- GFI: Clara selectiva muy suave, sobre un conjunto de árboles de *Quercus petraea*, *Q. canariensis*, *Q. ilex* y *Prunus avium* equivalente a 1/3 de la densidad total (aprox. 350 - 400 pies/ha), dominantes o codominantes de buena conformación, a los cuales se elimina 1 - 2 competidores directos siempre manteniendo un subvuelo de servicio. Además, se realiza un resalveo de *Castanea sativa*, dejando los mejores 1 - 2 rebrotes/cepa, siempre actuando sobre cepas con pies vivos, y un resalveo en cepas de *Q. ilex* con pies no inventariables. Es un rodal con un dosel arbóreo heterogéneo espacialmente y con cierta presencia de árboles de muy grandes dimensiones, por lo que la intervención será variable a microescala. Se decide extraer una biomasa total equivalente a 6 m²/ha en AB, con mayor intensidad en las zonas de concentración de árboles de valor de grandes dimensiones. Esto equivale a una AB total a extraer del 20%, pensando en una próxima intervención en 10 años. Desbroce selectivo eliminando el matorral necesario para facilitar la accesibilidad de los trabajos, junto con un resalveo de cepas de *Erica arborea* y *Arbutus unedo* donde se mantiene 1 rebrote/cepa y en cepas de *Corylus avellana* se mantienen 3-4 rebrotes/cepa, siempre sin dejar más de 5 m sin desbrozar. Se mantienen los pies de especies productoras de fruto carnoso que no dificulten el desarrollo de pies de especies arbóreas. Se cortan pies no inventariables (Dn < 7,5 cm) malformados de *P. avium* y no se actúa sobre pies de otras especies arbóreas.
- GFC: Corta por entresaca para la producción de leña de roble y encina, de diferentes tamaños. Se resalvean las cepas con tres o más pies, cortando solo aquellos que pueden tener valor de mercado (Dn >15 cm) y puntualmente otros dañados por el apeo de los grandes. AB a extraer sobre el 33%, con valor de referencia de 18 m²/ha. Se corta toda la madera muerta en pie y se extrae la que tiene valor de mercado. Sin desbroce. Sin cortar otras especies.

Finalmente, el AB extraída real con la GFI captada con la parcela de seguimiento C3.01.P1 se cifra en 10 m²/ha (42%), lo que sobrepasa al AB a extraer propuesto inicialmente para el conjunto del rodal. Esto se debe a que esta parcela presentaba una cantidad de árboles de grandes dimensiones que eran competidores de árboles de valor todavía más grandes, en mayor medida que la media del rodal. En general, se estima que la intensidad de corta fue del 22% del AB inicial para todo el rodal, observándose una reducción proporcional en todas las clases diamétricas, a excepción de la CD 45 (i.e., no se cortó ningún pie de la CD 45), si bien la intensidad de corta fue superior en las clases más pequeñas (CD 5-10) (Tabla 4, Figura 3). En el caso de la GFC, se ha mostrado generalmente una reducción proporcional en todas las clases, a excepción de CD25, la cual permaneció invariable tras las cortas. En comparación con la GFI, la GFC ha eliminado menos pies en todas las clases diamétricas, con la excepción de la CD 45.

- C3.03:

- GFI: Clara selectiva sobre un conjunto de árboles de *Quercus petraea*, *Q. canariensis*, *Q. ilex* y *Prunus avium* equivalente a 1/3 de la densidad total (aprox. 400 - 450 pies/ha), dominantes o codominantes de buena conformación, a los cuales se elimina 1 - 2 competidores directos siempre manteniendo un subvuelo de servicio. Además, se realiza un resalveo de *Castanea sativa*, dejando los mejores 1 - 2 rebrotes/cepa, siempre actuando sobre cepas con pies vivos, y un resalveo en cepas de *Q. ilex* con pies no inventariables. Es un rodal con un dosel arbóreo heterogéneo espacialmente y con abundante presencia de árboles de muy grandes dimensiones, por lo que la intervención será variable a microescala. Se decide extraer una biomasa total equivalente a 12 m²/ha en AB, con mayor intensidad en las zonas de concentración de árboles de valor de grandes dimensiones. Esto equivale a una AB total a extraer del 30%, pensando en una próxima intervención en 7 años. Desbroce selectivo eliminando el matorral necesario para facilitar la accesibilidad de los trabajos, junto con un resalveo de cepas de *Erica arborea* y *Arbutus unedo* donde se mantiene 1 rebrote/cepa y en cepas de *C. avellana* se mantienen 3 - 4 rebrotes/cepa, siempre sin dejar más de 5 m sin desbrozar. Se mantienen los pies de especies productoras de fruto carnoso que no dificulten el desarrollo de pies de especies arbóreas. Se cortan pies no inventariables (Dn < 7,5 cm) malformados de *P. avium* y no se actúa sobre pies de otras especies arbóreas.
- GFC: Corta por entresaca suave para la producción de madera de sierra de roble de tamaño mediano y grande, pero sin generar oberturas excesivas. Puntualmente se cortan y extraen los pies medianos y pequeños dañados por el apeo de los grandes, y algunos pies pequeños de leña de encina si hay cepas con muchos pies. AB total a extraer del 30%, con un valor de referencia de 35 m²/ha. Se corta toda la madera muerta en pie y se extrae la que tiene valor de mercado. Sin desbroce. Sin cortar otras especies.

Finalmente, el AB extraída con la GFI captada con la parcela de seguimiento C3.03.P1 se cifra en 9,3 m²/ha (18%), un valor cercano pero inferior a lo determinado para el conjunto del rodal. En general, se estima que la intensidad de corta es del 28% del AB inicial para todo el rodal, observándose una ligera reducción en casi todas las clases diamétricas, a excepción de la CD 5, CD 35 y +CD 50 (i.e., no se cortaron pies de estas clases diamétricas), centrándose así la mayor intensidad de corta en las clases pequeñas (CD 10-15) (Tabla 4, Figura 3). En el caso de la GFC, se ha mostrado generalmente una ligera reducción de pies en todas las clases diamétricas (CD 5 a CD 55). En comparación con la GFI, la GFC ha eliminado menos pies en todas las clases diamétricas inferiores a CD 45, manteniendo a su vez una densidad final de pies mayor a la masa gestionada mediante GFI (Tabla 4).

Tabla 4: Caracterización selvícola de las parcelas de roble antes e inmediatamente después de la gestión forestal innovadora y convencional. La intensidad de la intervención, en base a N y AB, se muestra entre paréntesis.

Parcelas	Pre-intervención				Gestión innovadora (GFI; post-intervención)				Gestión convencional (GFC; post-intervención)*			
	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)
C3.01.P1	951	16,2	25,9	10,8	531 (44%)	17,3	15,1 (42%)	10,9	761 (20%)	17,2	17,6 (32%)	11,9
C3.03.P1	1.017	22,0	51,3	13,2	575 (43%)	30,5	42,0 (18%)	13,6	814 (20%)	24,0	36,9 (28%)	12,5

Nota: ‘N’ es la densidad de pies vivos inventariables (i.e., pies de diámetro normal > 7,5 cm), ‘Dg’ es el diámetro medio cuadrático de pies vivos inventariables de toda la masa, ‘AB’ es el área basimétrica de los pies vivos inventariables, y ‘Hm’ es la altura media.

* Datos obtenidos de la parametrización de una gestión convencional sobre la masa inicial (‘Pre-intervención’).

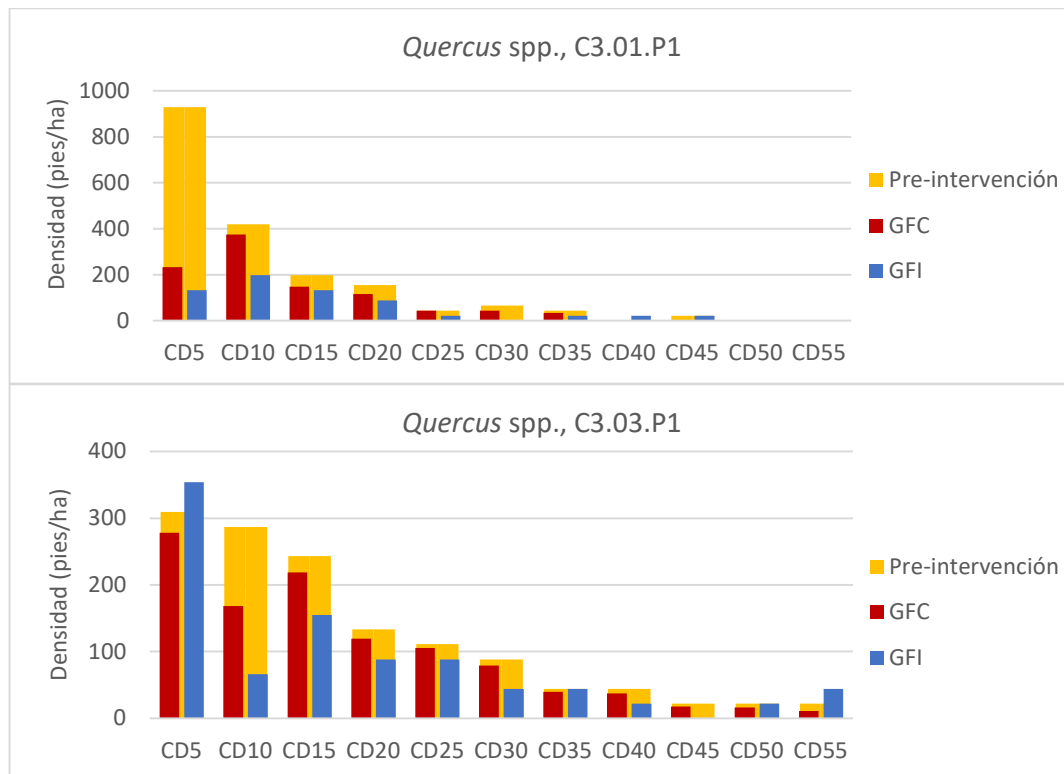


Figura 3: Distribución diamétrica de las parcelas de roble antes (‘Pre-intervención’) y después de la gestión forestal innovadora (‘GFI’) y convencional (‘GFC’). Los datos de ‘GFC’ provienen de la simulación de una gestión convencional sobre la masa antes de la intervención.

d) *Pinus spp.*

- C4.05

- GFI: Clara selectiva mixta sobre *Pinus sylvestris*, *Quercus pubescens*, *Fagus sylvatica* y otras especies del estrato dominante y codominante: se elimina 1 competidor directo sobre un conjunto equivalente a 1/3 de la densidad total (aprox. 300 pies/ha), árboles dominantes y codominantes de buena conformación manteniendo un subvuelo de servicio en el caso de seleccionar un roble. En las zonas sin influencia de pies seleccionados se regula la competencia en el subvuelo de manera general (clara baja) hasta una densidad de 600 pies/ha. Se extrae una biomasa total equivalente a 10 m²/ha de AB, con más intensidad donde se concentren los árboles de valor de mayores dimensiones y con menor intensidad en zonas menos capitalizadas. Esto equivale a un AB a extraer del 25-30%, pensando en una próxima intervención en 6 años. Durante la clara se eliminan pies competidores por copa de pies inventariables bien conformados de *Sorbus sp.*, *Acer sp.*, *Q. petraea* u otras frondosas de interés (1-2 competidores por árbol a liberar). También se liberan puntualmente pies de especies poco representadas: *Tilia sp.*, *Taxus baccata*, etc. Desbroce selectivo reduciendo el recubrimiento de matorral hasta el 25% y creando discontinuidad vertical en el combustible, eliminando preferentemente arbustos de más de 1,3 m de altura. En cepas de *Buxus sempervirens* con pies de porte arbóreo se realiza un resalveo manteniendo 1 rebrote/cepa, podado hasta 1/2 de su altura. En cepas de *Corylus avellana* se mantienen 3 - 4 rebrotes/cepa. Se mantienen algunos pies de especies productoras de fruto carnoso que no dificulten el desarrollo de pies de especies arbóreas. No se actúa sobre pies de especies arbóreas.
- GFC: Corta por entresaca por selección diamétrica, para la producción de madera de sierra de pino ($D_n > 17,5$ cm) y leña de roble, haya y arce. Se resalvean las cepas con tres o más pies, cortando solo aquellos que pueden tener valor de mercado ($D_n > 15$ cm) y puntualmente otros dañados por el apeo de los grandes. AB a extraer sobre 25% con valor de referencia mínima de 18 m²/ha. Se corta toda la madera muerta en pie y se extrae la que tiene valor de mercado. Desbroce intenso incluyendo pies menores de especies frondosas.

Finalmente, el AB extraída real con la GFI (10 m²/ha, 31% aprox.) excede ligeramente al AB a extraer propuesto inicialmente, observándose una reducción del 30% al 50% de la densidad de pies de todas las clases diamétricas igual o inferior a la CD 20 (Tabla 5, Figura 4). La GFI también eliminó, puntualmente y dependiendo de la parcela, algún pie de la clase diamétrica igual o mayor a 30 cm (los pies de la CD 25 permanecieron intactos en todas las parcelas). En el caso de la GFC, se ha mostrado generalmente una reducción acentuada de los pies de la CD 5 de todas las parcelas y, en menor medida, de los pies de CD 20 o mayores (la densidad de la CD 10-15 ha permanecido prácticamente invariable). En comparación con la GFI, la GFC ha eliminado muchos más pies de la CD 5 y, en menor medida, de pies pertenecientes a clases diamétricas medianas-grandes (CD 25 a CD 45) (Tabla 5).

Tabla 5: Caracterización selvícola de las parcelas de pino antes e inmediatamente después de la gestión forestal innovadora y convencional. La intensidad de la intervención, en base a N y AB, se muestra entre paréntesis.

Parcelas	Pre-intervención				Gestión innovadora (GFI; post-intervención)				Gestión convencional (GFC; post-intervención)*			
	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)	N (pies/ha)	Dg (cm)	AB (m ² /ha)	Hm (m)
C4.05.P1	1.033	18,5	33,1	12,4	580 (44%)	18,6	20,7 (37%)	12,9	901 (13%)	18,9	25,4 (23%)	11,7
C4.05.P2	1.111	18,6	35,8	12,4	735 (34%)	19,2	26,2 (27%)	12,9	918 (17%)	18,3	24,1 (33%)	11,2
C4.05.P5	866	19,7	33,2	13,8	603 (30%)	19,9	23,5 (29%)	14,1	749 (14%)	19,9	23,4 (30%)	12,7

Nota: ‘N’ es la densidad de pies vivos inventariables (i.e., pies de diámetro normal > 7,5 cm), ‘Dg’ es el diámetro medio cuadrático de pies vivos inventariables de toda la masa, ‘AB’ es el área basimétrica de los pies vivos inventariables, y ‘Hm’ es la altura media.

* Datos obtenidos de la parametrización de una gestión convencional sobre la masa inicial (‘Pre-intervención’).

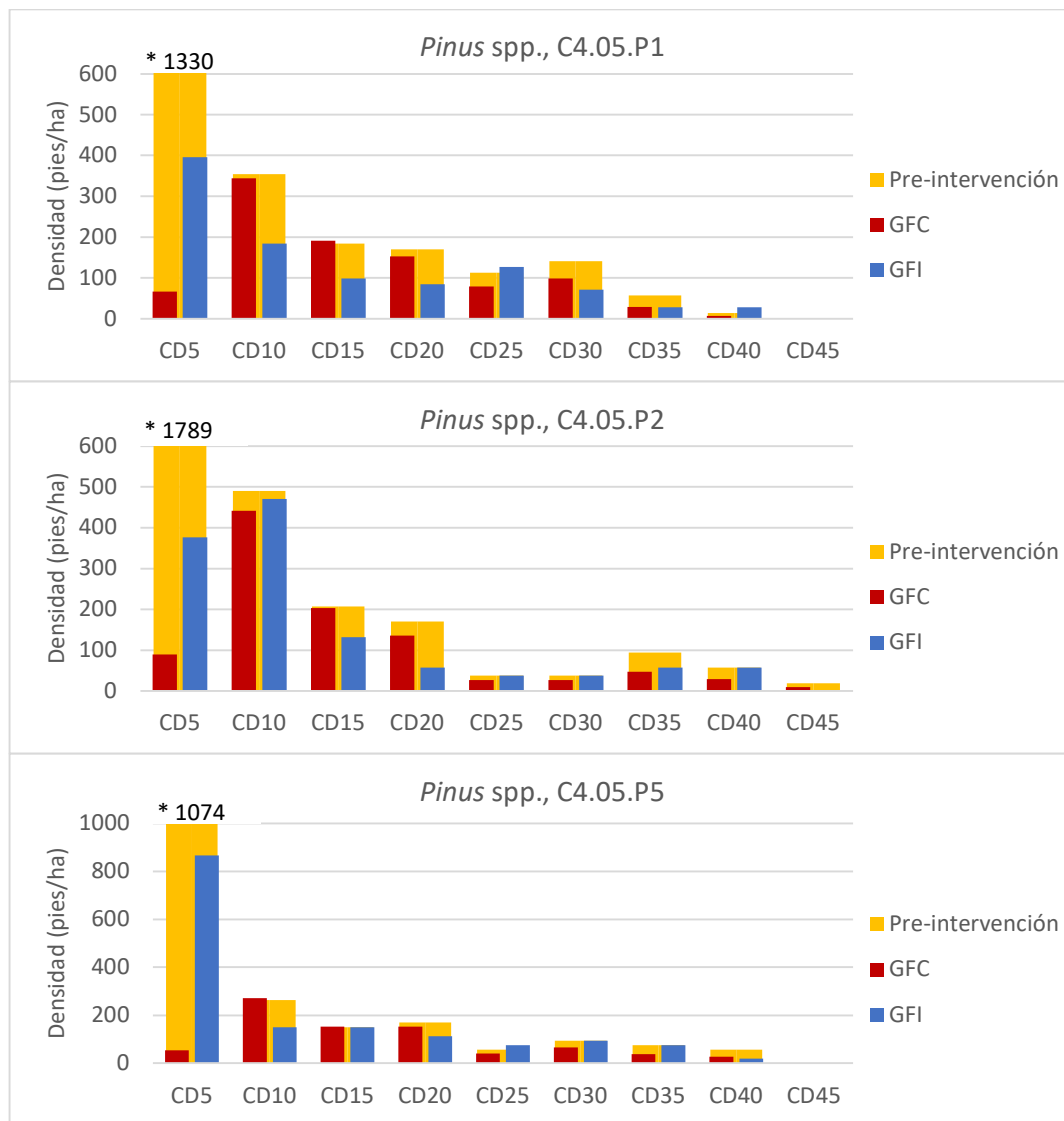


Figura 4: Distribución diamétrica de las parcelas de pino antes (‘Pre-intervención’) y después de la gestión forestal innovadora (‘GFI’) y convencional (‘GFC’). Los datos de ‘GFC’ provienen de la simulación de una gestión convencional sobre la masa antes de la intervención. *Densidad de pies de CD5 en la masa inicial.

2.2. Indicadores de servicios ecosistémicos

Se ha analizado una serie de indicadores, para todas las parcelas y/o rodales y para la situación inicial y para los dos escenarios de gestión: el riesgo de incendios forestales, capacidad de albergar biodiversidad, balance hídrico y fijación de carbono. Dependiendo del indicador, los escenarios de GFI y GFC pertenecen al periodo inmediatamente después de la intervención (inventario ‘Post’) o dos o tres periodos vegetativos tras la intervención (inventario ‘Final’) (Tabla 6).

Tabla 6: Escenarios de gestión forestal y número de parcelas o rodales evaluados en cada indicador.

Escenarios de gestión	Riesgo de incendios	Biodiversidad potencial	Balance hídrico	Fijación de C
Pre (situación inicial, común a GFI y GFC)	X	X	X	X
Post-GFI	X	X	-	X
Post-GFC	-	X	-	X
Final-GFI	X	-	X	X
Final-GFC	X	-	X	-
Nº de parcelas/rodales	9 parcelas	6 rodales	4 parcelas	9 parcelas (GFC: 4 p.)

Nota: ‘Pre’: antes de la intervención, ‘Post’: inmediatamente después de la intervención, ‘Final’: 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención, ‘GFI’: gestión forestal innovadora, y ‘GFC’: gestión forestal convencional.

El **riesgo de incendios forestales** se ha evaluado a través de la vulnerabilidad estructural a incendios de las masas forestales mediante la metodología TVFoC (Piqué et al., 2013). Esta metodología cuantitativa permite clasificar un rodal forestal según su vulnerabilidad para generar fuegos de copas. Así, se diferencia entre TVFoC de vulnerabilidad alta (A), moderada (B) y baja (C). Esta clasificación se basa en diferentes características (especialmente, recubrimiento, altura y distancia entre ellos) de los combustibles aéreo, de escala y de superficie. Para comparar a medio plazo los efectos de las distintas gestiones forestales sobre el TVFoC, se han llevado a cabo los análisis para las nueve parcelas después de dos o tres años de las intervenciones (Final) (Tabla 6). Así mismo, debido a la rápida evolución de las masas forestales tras los tratamientos selvícolas, se ha considerado oportuno evaluar de forma complementaria el efecto temporal (Post y Final) de la GFI sobre el TVFoC (no se dispone de datos de GFC en Post).

La capacidad de albergar biodiversidad se ha evaluado mediante el **Índice de Biodiversidad Potencial** (IBP; Larrieu and Gonin, 2008). El IBP es una metodología basada en indicadores cuantitativos que permite estimar la capacidad potencial de un rodal forestal de acoger biodiversidad. Algunos de los factores del IBP son propios de las características físicas (continuidad temporal del bosque y presencia de medios acuáticos y rocosos) y otros se pueden modificar con la gestión (presencia de especies autóctonas, estructura vertical de la vegetación, cantidad de madera grande muerta en pie y en suelo, número de árboles vivos grandes y de portadores de dendro-microhábitats y presencia de espacios abiertos). El IBP se obtiene con la suma de los factores, cuyos valores abarcan de 0 (mínimo) a 5 (máximo). Este índice se ha expresado en tanto por ciento, respecto el valor máximo que puede lograr para cada rodal. La evaluación del IBP de los escenarios de GFI y GFC se realizó solo para las masas inmediatamente tras la intervención (Post) (Tabla 6).

El **balance hídrico** de los dos escenarios de gestión forestal se ha estudiado con el modelo *Medfate* (De Cáceres et al. (2015)). Este modelo actualiza diariamente el contenido de agua en el suelo en función de la estructura de la masa y de la meteorología diaria (temperatura, precipitación y radiación). El balance de agua en el suelo es la diferencia entre los procesos que determinan la entrada de agua (precipitación) y la salida de agua (intercepción del dosel, transpiración del arbolado, evaporación del suelo desnudo, escorrentía superficial y drenaje profundo). El modelo del balance hídrico requiere información de la estructura de la masa a nivel de cohorte (altura y diámetro normal; Tabla A1) y del estrato arbustivo (porcentaje de recubrimiento y altura; Tabla A2). A partir de estos datos de la masa, obtenidos en campo, y de relaciones alométricas se estimó el índice de área foliar (LAI) para poder, a posteriori, simular el balance de agua. El modelo también se alimenta de los atributos físicos del suelo. Por otro lado, los datos climáticos diarios usados en el modelo proceden de interpolaciones, mediante el paquete ‘meteoland’ de R (De Cáceres et al., 2017), de los datos de las estaciones meteorológicas españolas (AEMET) que, a su vez, han sido corregidas por las diferencias entre las elevaciones de las estaciones y de las parcelas estudiadas. Se ha elegido un periodo de 20 años de simulación, para disponer de una serie amplia que represente diversas situaciones meteorológicas. Finalmente, para evaluar el efecto de los escenarios de gestión sobre la disponibilidad de agua (i.e., escorrentía total; en mm), se suman las variables anuales simuladas de escorrentía superficial y drenaje profundo. En este estudio, se muestra la disponibilidad de agua relativa a la cantidad total de precipitación (i.e., escorrentía relativa; en %) para la situación pre-intervención, Final-GFI y Final-GFC implementados en las 4 parcelas que poseen información del arbolado y sotobosque (i.e., una parcela de cada tipología forestal) (Tabla 6).

El **carbono fijado total** y la **tasa anual de fijación de carbono** del estrato arbóreo se han calculado a nivel individual de árbol, siguiendo la “Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono” del Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO, 2019), el cual se ha basado en las directrices y orientaciones sobre buenas prácticas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Por un lado, (a) se ha estimado las reservas de carbono por pie (i.e., carbono fijado; $t\ C\ ha^{-1}$) a partir de: (i) el volumen maderable con corteza (estimado de las relaciones alométricas proporcionadas por el Laboratori Forestal Català), (ii) la fracción de carbono de la materia seca (por defecto, 0,5), (iii) el factor de expansión de biomasa por especie (para convertir el incremento neto anual en incremento de biomasa arbórea sobre el suelo), (iv) la densidad de madera por especie, y (v) la relación raíz-parte aérea por especie. Por otro lado, (b) se ha estimado la tasa anual de fijación de carbono ($t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$) de la misma manera que las reservas de carbono, pero sustituyendo el volumen maderable por el incremento anual del volumen de madera con corteza, el cual ha sido estimado mediante las relaciones alométricas del Laboratori Forestal Català. Por lo tanto, la tasa de fijación anual de carbono se calcula en base a la tasa anual de crecimiento de la vegetación actual, asumiendo que no hay cambios, ni se crean nuevas estructuras ni se destruyen las existentes. Además, el crecimiento calculado hace referencia en exclusiva al incremento de volumen de madera con corteza de los troncos, asumiendo así una cantidad fija de carbono almacenada en las ramas y las hojas. Finalmente, tanto el carbono fijado como la tasa de fijación de carbono se han estimado para todas las parcelas y escenarios de gestión. Es decir, en las parcelas que se evaluaron tanto la GFI

como la GFC (4 parcelas en total), las estimaciones se muestran para el periodo pre-intervención, Post (GFI y GFC) y Final (solo GFI), mientras que para el resto de las parcelas (aquellas en las que no se simuló una GFC) solo se muestra el escenario pre-intervención, Post y Final de la GFI (Tabla 6). En la Tabla A1 se muestra resumidamente la composición, los diámetros normales medios y alturas medias de las especies arbóreas que componen las 4 parcelas en cada escenario de gestión.

3. Resultados

3.1. Efectos en la vulnerabilidad a incendios

La vulnerabilidad estructural de las parcelas a generar fuegos de copa (TVFoC) se ha visto afectada de manera diferente en función del tipo de gestión y formación forestal (Figura 5). En general, se ha observado que, después de 2 o 3 periodos vegetativos de la intervención ('Final'), la gestión forestal convencional (GFC) redujo más eficazmente la vulnerabilidad estructural a incendios que la gestión forestal innovadora (GFI). Esto es debido a que la GFC, al contrario que la GFI, intervino generalmente en la mayoría de las clases diamétricas y, por lo tanto, en todos los estratos, resultando en una fragmentación de la estructural vertical de la masa, dificultando así la propagación de incendios de la superficie a las copas.

En encinares, la GFC (Final-GFC) condujo a una vulnerabilidad similar o mayor que la situación inicial (Pre), mientras que GFI (Final-GFI) redujo la vulnerabilidad de un rodal y la aumentó en otro (Figura 5). En este rodal donde GFI aumentó la vulnerabilidad se observa, sin embargo, que los tratamientos redujeron considerablemente el riesgo justo después de la intervención (Post-GFI; Figura A1). En los casos en que los tratamientos (Final-GFC/GFI) no redujeron la vulnerabilidad o la aumentaron, el motivo ha sido el incremento del recubrimiento del combustible de superficie (RCS) (Figura 5). En base a estos resultados, se puede deducir que: (i) la alta vulnerabilidad de la masa causada por la GFC, principalmente, se debe al aumento de restos de corta en la superficie como resultado de cortar pies de mayores dimensiones; y (ii) la poca efectividad de la GFI a corto o medio plazo radica en el rebrote de encina y en la baja-moderada intensidad de corta (29% de AB), que resulta en una recuperación rápida del estrato arbustivo.

En castaños, la GFC (Final-GFC) fue más eficaz en la disminución de la vulnerabilidad estructural frente a incendios que la GFI (Final-GFI), gracias sobre todo a la significativa reducción del recubrimiento de combustible de escala (RCE) (Figura 5). Por otro lado, la GFI tuvo un efecto inmediato de reducción de la vulnerabilidad a corto plazo en una parcela del rodal (Post-GFI; Figura A1), si bien dicha gestión pudo desencadenar un rebrote de castaño (Final-GFI; Figura A1, Figura 2).

En los robledales se observan resultados variables de los tratamientos sobre la vulnerabilidad a incendios (Figura 5). Por un lado, al disminuirse el RCE mediante la GFC (Final-GFC), se mantuvo o redujo la vulnerabilidad. Por otro lado, la GFI (Final-GFI) aumentó la vulnerabilidad en un rodal por el efecto de: (i) un RCE medio, (ii) distancias reducidas entre combustibles de superficie y escala y entre combustibles de escala y aéreo ($D_{se} < 4$ m, $D_{ea} < 3$ m, respectivamente); y (iii) un alto RCS. Es decir, la GFI en ese rodal generó una estructura heterogénea verticalmente con relativa abundancia de estratos intermedios, lo que supone coberturas abundantes de los estratos de escala y aéreo, con poca distancia entre ellos. El TVFoC de este rodal afectado negativamente

por la GFI, a los dos o tres años tras la intervención, no se vio alterado inicialmente por los tratamientos, por lo que el efecto negativo en el TVFoC a medio plazo se puede atribuir a la propia evolución de la masa y baja intensidad de corta (Post-GFI; Figura A1).

En pinares, los tratamientos selvícolas (Final-GFC/GFI) mantuvieron generalmente la vulnerabilidad a incendios, si bien la GFC la redujo en una parcela y la GFI la aumentó en otra parcela (Figura 5; Figura A1). La reducción de la vulnerabilidad por la GFC fue el resultado de disminuir, sobre todo, el RCE, mientras que el aumento de vulnerabilidad tras la GFI fue causado por el incremento de restos de la corta (RCS) y/o del sotobosque.

Por último, cabe añadir que las masas de encina y, sobre todo, de castaño, presentaban en el momento inicial una mayor vulnerabilidad a incendios de copas que las masas de roble y pino (Figura 5). Esto puede deberse a que hay una mayor continuidad vertical de biomasa en estos encinares y castaños, pues el recubrimiento de escala y, en menor medida, de superficie de estas masas tiende ser superior a las de otras formaciones.

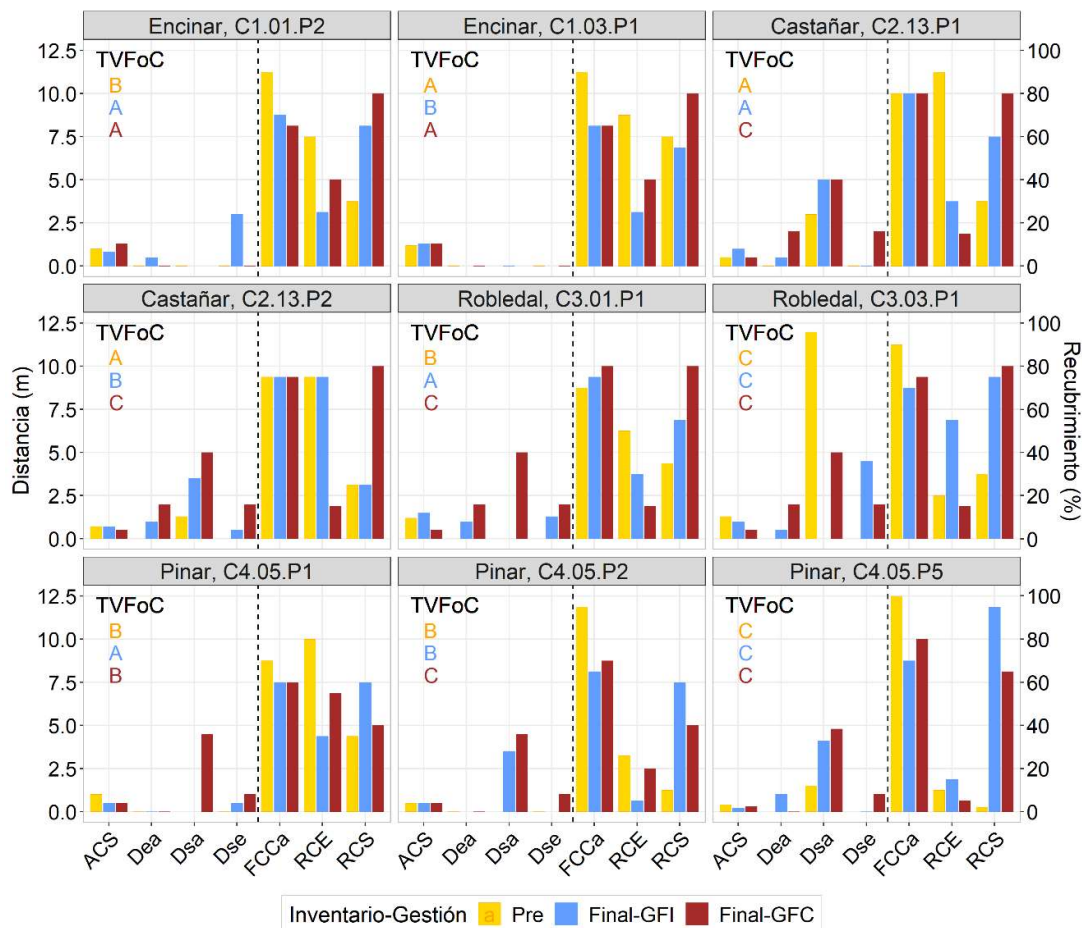


Figura 5: Efectos de las diferentes gestiones forestales sobre la vulnerabilidad de las distintas formaciones forestales y parcelas a incendios de copas (TVFoC). ‘Pre’: inventario antes de la intervención (datos observados); ‘Final-GFI’: inventario 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención con gestión forestal innovadora (datos observados); ‘Final-GFC’: inventario después de la intervención con gestión forestal convencional (datos simulados a partir del ‘Pre’). Las categorías de vulnerabilidad (TVFoC) son alta (‘A’), moderada (‘B’) y baja (‘C’). El primer eje Y (izq.) muestra: (i) la altura de combustible de superficie (‘ACS’), (ii) la distancia entre combustibles de escala y aéreo (‘Dea’), (iii) la distancia entre combustibles de superficie y aéreo (‘Dsa’), y (iv) la distancia entre combustibles de superficie y escala (‘Dse’). El segundo eje Y (der.) muestra: (i) la fracción de cabida cubierta del combustible aéreo (‘FCCA’), (ii) el recubrimiento de combustible de escala (‘RCE’), y (iii) el recubrimiento del combustible de superficie (‘RCS’).

3.2. Efectos en la biodiversidad

El índice de biodiversidad potencial (IBP) presenta una reducción notablemente mayor en el caso de GFC que de GFI (Figura 6).

En encinares, la ligera reducción de IBP tras la GFI, de 78% a 72% de media, se explica por la reducción de los factores C (cantidad de madera grande muerta en pie), B (número de estratos presentes) y G (superficie de espacios abiertos, probablemente debido a la corta de encinas de copas de gran desarrollo; Figura 6). En el caso de la GFC, la intervención produjo una disminución de IBP, de 78% a 49% de media, debido a la reducción especialmente de los factores A (complejidad de la estructura vertical de la masa), C y D (madera muerta en pie y en el suelo, respectivamente), E (árboles vivos grandes) y F (árboles vivos portadores de dendro-microhábitats) (Figura 6).

En el rodal de castaño, los tratamientos selvícolas apenas disminuyeron el IBP (Figura 6). Es decir, el IBP de la masa inicial y de los escenarios GFI y GFC es 38%, 32% y 28%, respectivamente. El GFC redujo los factores B (número de estratos presentes) y F (número de árboles vivos portadores de microhábitats), mientras que el GFI solo afectó negativamente al factor B (complejidad de la estructura vertical de la vegetación).

En robledales, las ligeras reducciones de IBP tras la GFI, de 68% a 60% de media, fueron el resultado de la disminución de la cantidad de madera grande muerta en pie y en el suelo y de los espacios abiertos (Figura 6). Los fuertes descensos de valores de IBP tras la GFC, de 68% a 39% de media, fueron causados por reducciones en los factores B (estructura vertical), C-D (cantidad de madera grande muerta en pie y suelo, respectivamente), F (número de árboles portadores de microhábitats) y G (superficie de espacios abiertos) (Figura 6).

En el rodal de pino, la GFI no afectó al IBP (56% en Pre y GFI; Figura 6). Por el contrario, el GFC redujo ligeramente el IBP (de 56% a 46%), especialmente debido a la puntuación menor de los factores B (número de estratos presentes) y C (cantidad de madera grande muerta en pie) (Figura 6).

Los valores IBP iniciales de los encinares y, en menor medida, de los robledales presentaron un valor más alto que los pinares y castañares (Figura 6). Los principales factores que producen esta diferencia son la madera muerta en pie (factor C), y los árboles vivos con dendromicrohábitats (factor F).

Por último, se ha de recalcar los resultados mostrados son solo una primera aproximación de los efectos a corto plazo del IBP, un indicador que está diseñado para evaluarse a medio plazo.

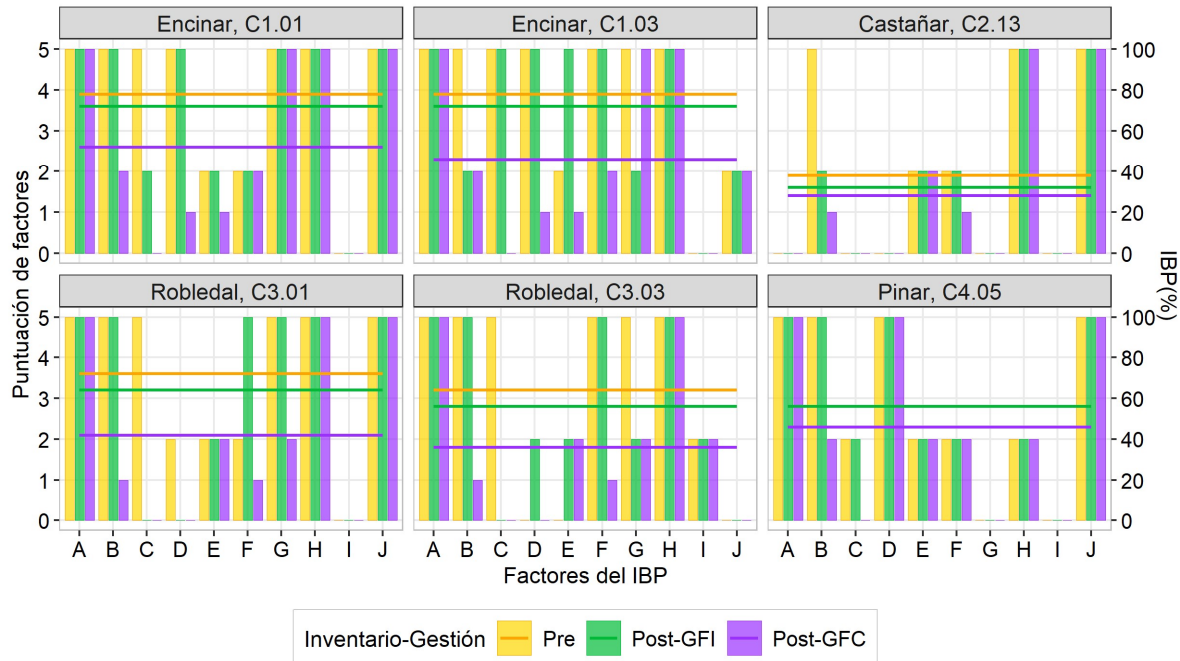


Figura 6: Efecto de los dos tipos de gestión forestal sobre el Índice de Biodiversidad Potencial (IBP; líneas) de los rodales y los factores que lo componen (barras). ‘Pre’: inventario antes de la intervención (datos observados); ‘Post-GFI’: inventario justo después de la intervención de la gestión forestal innovadora (datos observados); ‘Post-GFC’: inventario justo después de la intervención de la gestión forestal convencional (datos simulados a partir del ‘Pre’). El rango de cada factor es de 0 (mínimo) a 5 (máximo). Factores de gestión: ‘A’: especies autóctonas; ‘B’: estructura vertical de la vegetación; ‘C’: madera grande muerta en pie; ‘D’: madera grande muerta en suelo; ‘E’: árboles vivos grandes; ‘F’: árboles vivos portadores de dendro-microhábitats; ‘G’: espacios abiertos. Factores de contexto: ‘H’: continuidad temporal del bosque; ‘I’: medios acuáticos; ‘J’: medios rocosos. En el rodal de *Pinus* spp., el IBP de Pre-Control es el mismo que el IBP de Post-GFI.

3.3. Efectos en el balance hídrico

La gestión forestal, gracias a la reducción de la densidad del arbolado, permite mejorar el balance hídrico, es decir, reducir la transpiración y aumentar el agua azul. Tanto GFI como GFC han mejorado el balance hídrico, con un efecto más marcado en el caso de la segunda y con diferencias entre formaciones (Figura 7). Las diferencias entre gestiones y formaciones forestales se explican principalmente por su incidencia en el índice de área foliar (LAI) de la masa, que varía en función de: (i) las especies de los estratos arbóreo y arbustivo (i.e., hay especies más eficientes que otras en el balance de agua y carbono, y, por tanto, en el LAI); (ii) el tamaño de los individuos (i.e., árboles y arbustos más grandes tienen un mayor LAI) y (iii) el número de individuos (i.e., a mayor densidad de pies y arbustos, mayor LAI). Las masas con un LAI total muy alto demandarán más cantidad de agua para mantener sus procesos (p.ej., fotosíntesis, transpiración (Figura A2)) y, por lo tanto, darán lugar a una disminución de la escorrentía superficial y del drenaje profundo, debido a la menor disponibilidad de agua. Estudios previos muestran que, aparte de la composición vegetal de la masa, la gestión forestal y la intensidad de corta configuran el balance hídrico de un ecosistema (Ameztegui et al., 2017). En este sentido, la gestión forestal, además de modular la cantidad de agua que sale del sistema (p.ej., reduciendo la demanda de agua), también controla la cantidad de agua que recibe el bosque mediante la disminución, más o menos acentuada, de la intercepción de

precipitación por parte del dosel. Por lo tanto, la gestión forestal es capaz, como ya otros estudios han demostrado (Rodríguez-Calcerrada et al., 2011), de mitigar el estrés hídrico que cada vez es más frecuente por los efectos del cambio climático.

En el encinar y en el castaño se observan resultados similares sobre el impacto de las gestiones forestales en la disponibilidad de agua (Figura 7). Es decir, la escurrimiento relativo media en el encinar y castaño fue, respectivamente: $21 \pm 12\%$ en pre-intervención, $27 \pm 14\%$ en Final-GFI y $32 \pm 13\%$ en Final-GFC; y $35 \pm 11\%$ en pre-intervención, $37 \pm 12\%$ en Final-GFI y $42 \pm 12\%$ en Final-GFC. Por lo tanto, en ambas formaciones, la GFC mostró una mayor escurrimiento relativo respecto a la situación inicial (Pre) que la GFI, si bien las diferencias entre los efectos de los 2 escenarios de gestión fueron más marcadas en el encinar que en el castaño (i.e., la escurrimiento relativo de Final-GFI en el castaño apenas fue superior a la de Pre). Estas diferencias en el encinar y castaño se pueden deber a uno o varios factores: (i) mayor intensidad de corta de la GFC que de la GFI (sobre todo en castaño; Tabla 1-2); (ii) la GFC, en comparación a la GFI, tiende a eliminar más pies de tamaño intermedio-grande (en encinar principalmente) que son capaces de demandar más agua e interceptar más precipitación; y (iii) la GFC eliminó más pies de especies con alto LAI (p.ej., encina; Tabla A1).

En el pino y en el robledal, tanto la GFI como la GFC causaron efectos similares en la disponibilidad de agua, aunque el impacto de ambas gestiones en el pino fue considerablemente más marcado que en el robledal (Figura 7). Es decir, la escurrimiento relativo media en el robledal y pino fue, respectivamente: $24 \pm 14\%$ en pre-intervención, $31 \pm 13\%$ en Final-GFI y $31 \pm 13\%$ en Final-GFC; y $34 \pm 11\%$ en pre-intervención, $51 \pm 10\%$ en Final-GFI y $51 \pm 10\%$ en Final-GFC. Estas tendencias similares de la GFI y GFC se pueden atribuir a que ambas intervenciones extrajeron cantidades parecidas de superficie foliar del arbolado: la GFI extrajo generalmente más pies (pequeños-medianos principalmente) que la GFC, pero la GFC, a diferencia de la GFI, eliminó algunos pies de tamaño mediano-grande con gran capacidad fotosintética (Tabla 3-4). Por otro lado, cabe destacar que el pino ha sido la formación forestal que parece haber reaccionado más positivamente, en términos de disponibilidad hídrica, a las gestiones forestales. Esta reacción más marcada del pino no parece poder explicarse por la intensidad de corta (no difiere significativamente de la de otras formaciones), si bien en esta formación se ha hecho una extracción más intensa de pies de tamaños intermedios y/o grandes, de *Q. pubescens* y *P. sylvestris* especialmente (Figura 4, Tabla A1).

Por otro lado, también se observa un efecto de la tipología forestal en la disponibilidad de agua, observándose valores mayores de escurrimiento relativo en la situación inicial (Pre) de castaños y pinares que en las de otras formaciones (Figura 7). Estas diferencias entre formaciones pueden deberse a múltiples factores, desde la composición vegetal (anteriormente mencionada) hasta atributos propios de cada zona (p.ej., tipo y profundidad de suelo, climatología).

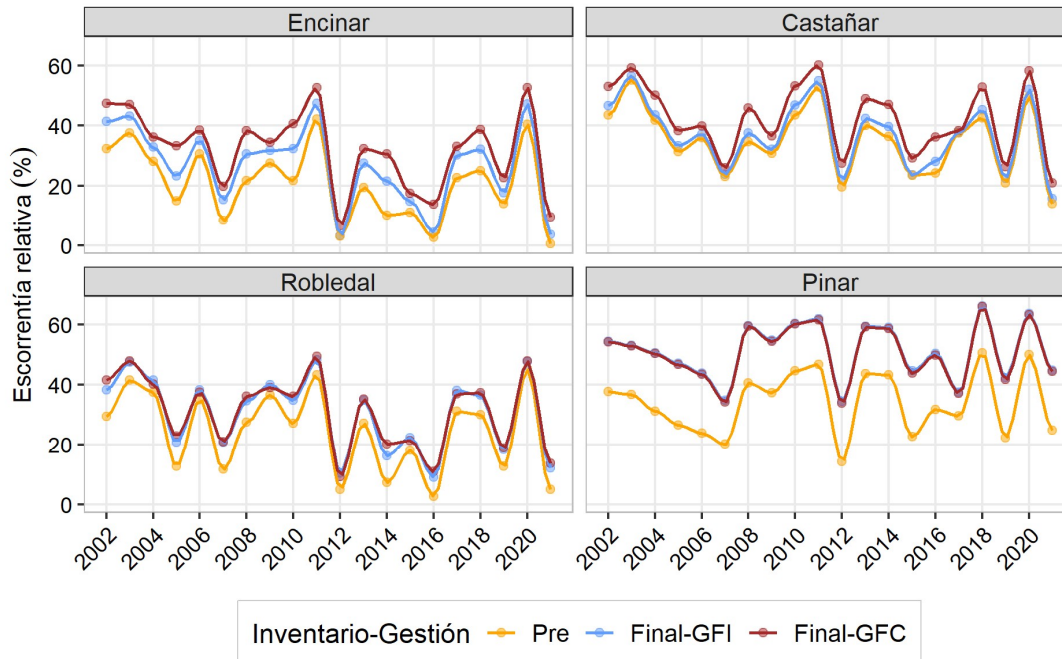


Figura 7: Efecto de las distintas gestiones forestales sobre la disponibilidad de agua (representada como ‘escorrentía relativa’). La escorrentía relativa es la proporción de escorrentía total (suma de escorrentía superficial y drenaje profundo) respecto a la precipitación total. ‘Pre’: inventario antes de la intervención (datos observados); ‘Final-GFI’: inventario 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención de la gestión forestal innovadora (datos observados); ‘Final-GFC’: inventario 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención de la gestión forestal convencional (datos simulados a partir de ‘Pre’).

3.4. Efectos en la tasa de fijación de carbono

La reducción de la densidad del arbolado causada por cualquier intervención selvícola (como GFI o GFC) da lugar a una reducción en la tasa anual de fijación de carbono y en el carbono almacenado. La magnitud de este efecto ha sido diferente en función del tipo de gestión y de la parcela (Figura 8). Las diferencias encontradas entre GFI y GFC dependen de la densidad, de las especies arbóreas y del tamaño de éstas tras la aplicación de la selvicultura.

En encinares, GFI y GFC reducen de forma similar el C almacenado en la masa, si bien la tasa anual de fijación de C pasa a ser ligeramente mayor en GFC ($5,6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) que en GFI ($4,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Figura 8). A pesar de que la intensidad de corta de la GFC ha sido ligeramente mayor que la de GFI (+6%), la densidad de pies en Post-GFC es mayor que en Post-GFI, lo que puede explicar esa diferencia de tasas de fijación entre los dos tipos de gestiones. Además, cabe destacar un mayor número de pies de *Prunus avium* en Post-GFC que en Post-GFI: esta especie tiene una tasa de fijación de C mayor que la de *Q. ilex* (Figura A3). Por otro lado, la tasa de fijación a los 2 o 3 años de la intervención de la GFI (Final-GFI; $5,4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) se ha visto aumentada, principalmente en C1.01.P2, hasta casi alcanzar el valor de Post-GFC. Este aumento se debe al incremento de árboles y, por lo tanto, de la tasa de fijación de C de *P. avium* y *Q. ilex* en Final-GFI.

En castaños se observa una mayor disminución de la tasa anual de fijación de C y de C almacenado en Post-GFC ($2,8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) que en Post-GFI ($4,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), debido a una mayor eliminación de pies de *C. sativa* en el primer caso (Figura 8, A3). Por otro

lado, la tasa de fijación a los 2 o 3 años de la intervención de GFI (Final-GFI; $4,8 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) se ve aumentada hasta casi alcanzar la inicial (Pre; $5,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Figura 8).

En robledales, Post-GFI ($4,3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y Post-GFC ($4,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) han mostrado tasas anuales de fijación de C muy parecidas, si bien el GFC ha producido una mayor reducción del C fijado que GFI (Figura 8). Esto se debe a que los pies eliminados por la GFC eran de mayor tamaño que los de GFI, a pesar de que la GFI haya reducido más la densidad total que la GFC. Por otro lado, la tasa de fijación a los 2 o 3 años de la intervención de GFI (Final-GFI; $5,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) se ha visto ligeramente aumentada en la parcela C3.03.P1, hasta casi alcanzar la tasa inicial (Pre; $5,6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Figura 8).

En pinares, Post-GFI ($7,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y Post-GFC ($6,7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) mostraron tasas anuales de fijación de C y valores de C almacenado similares, a pesar de que GFI reduce más la densidad que GFC (Figura 8). Esta diferencia de densidad de pies, no reflejada en los resultados del balance de C, puede estar compensada por la reducción de pies ligeramente más grandes con GFC en que con GFI. También se observa que los pocos pies de *Acer sp.* presentes en la masa (C4.05.P2) contribuyen significativamente más que los de *P. sylvestris* en la tasa anual de fijación de C, a pesar de ser los primeros mucho más escasos (Figura A3). Por otro lado, al contrario que las otras formaciones, no se han detectado cambios significativos en la tasa de fijación de Final-GFI (i.e., después de 2 o 3 años de la intervención; $6,9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) respecto a la tasa de Post-GFI.

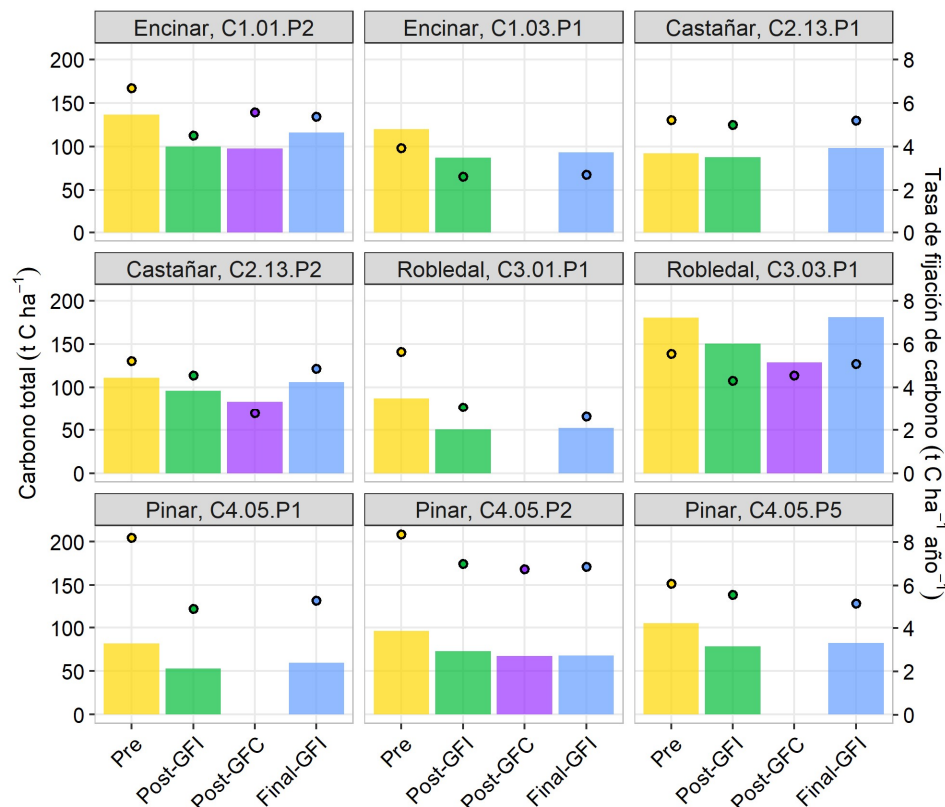


Figura 8: Efecto de las distintas gestiones forestales sobre el carbono fijado total (barras) y la tasa de fijación de carbono (puntos) de las diferentes formaciones forestales y parcelas. 'Pre': inventario antes de la intervención (datos observados); 'Post-GFI': inventario justo después de la intervención de la gestión forestal innovadora (datos observados); 'Post-GFC': inventario justo después de la intervención de la gestión forestal convencional (datos simulados a partir de 'Pre'); 'Final-GFI': inventario 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención de la gestión forestal innovadora (datos observados).

4. Conclusiones

Este trabajo se ha centrado en evaluar los efectos a corto plazo de los tratamientos selvícolas siguiendo una gestión forestal innovadora (MixForChange), frente a los de una hipotética gestión forestal convencional (tradicional), sobre una serie de servicios ecosistémicos que son indicadores directos o indirectos de la capacidad de adaptación y mitigación del cambio climático. La evaluación de ambas gestiones se ha centrado en su impacto sobre: (i) la vulnerabilidad de las masas a incendios, (ii) la capacidad de acogida de biodiversidad, (iii) la disponibilidad de agua, y (iv) la fijación de carbono.

Se puede concluir que la GFC resulta más eficiente en la lucha frente a incendios forestales y el estrés hídrico, mientras que la GFI configura masas con potencial para albergar más biodiversidad. No se han observado tendencias claras sobre la fijación de C entre las dos opciones de gestión.

Esta evaluación se ha basado en resultados obtenidos durante un periodo muy corto tras las intervenciones (2 o 3 periodos vegetativos), por lo que queda pendiente de realizarse la evaluación de ambas opciones de gestión a medio plazo, con sucesivas aplicaciones de ambas opciones de gestión, que en el caso de GFI son de menor intensidad y mayor frecuencia. Además, la estructura buscada con la GFI solo se puede conseguir tras varias intervenciones, por lo que las masas se pueden considerar actualmente en transición.

La GFI aplicada en el marco del MixForChange ha mostrado ser una opción prometedora para conseguir una mejora generalizada de los indicadores de adaptación y mitigación, además de incrementar potencialmente la sostenibilidad económica de la gestión gracias a la mayor producción de madera de calidad.

Por otro lado, los efectos de ambas opciones de gestión sobre los indicadores evaluados dependen significativamente de la tipología forestal. Se describen a continuación los principales resultados sobre el impacto de las distintas gestiones forestales a nivel de formación:

- Encinar: la GFI, al producir menos restos de corta, ha resultado ser la gestión más apta en la reducción de la vulnerabilidad de la masa a incendios de copas, aunque su efectividad sea a corto plazo por su baja-moderada intensidad de corta. Además, la GFI ha sido más eficiente que la GFC respecto a la conservación de la biodiversidad potencial, sin apenas reducir el IBP inicial (Pre), gracias al mantenimiento de madera muerta, árboles grandes y/o portadores de microhábitats. Por otro lado, la GFC ha resultado ser más idónea a la hora de: (i) aumentar la disponibilidad de agua, al reducir más eficientemente la competencia arbórea y la intercepción de precipitación; (ii) y de mantener una tasa de fijación de C superior a la de la GFI, debido a la mayor presencia de ciertos planifolios (p.ej., cerezos) tras la intervención de la GFC capaces de fijar más C que otras especies.
- Castañar: la GFC, al fragmentar la continuidad vertical de biomasa de los castaños, ha reducido considerablemente la vulnerabilidad de la masa a incendios de copas, mientras que la GFI solo la redujo en algún caso puntual y a corto plazo (i.e., la baja-moderada intensidad de la GFI pudo conducir a un mayor rebrote castaño). Las gestiones forestales, por contra, apenas tuvieron un efecto reductor en la biodiversidad potencial de la masa, observándose solo pequeñas reducciones en el

número de estrato presentes y, en el caso de la GFC, en árboles con microhábitats. Por otro lado, la GFC también ha resultado ser más idónea a la hora de aumentar la disponibilidad de agua, al reducir más eficientemente la competencia arbórea y la intercepción de precipitación, mientras la GFI ha mantenido una tasa de fijación de C superior a la de la GFC (i.e., mayor eliminación de castaños con la GFC que con la GFI).

- Robledal: la GFC, al fragmentar la continuidad vertical de biomasa de los robledales, ha mantenido o reducido la vulnerabilidad de la masa a incendios de copas, mientras que la GFI mantuvo o perjudicó dicha vulnerabilidad por la baja-moderada intensidad de corta y/o evolución de la propia masa. Por otro lado, la GFC redujo bastante más que la GFI el índice de biodiversidad potencial de la masa, al ir en detrimento de múltiples nichos (p.ej., madera muerta, árboles con microhábitats, etc.), mientras que la GFI prácticamente disminuyó la madera muerta en pie. Por el contrario, no se aprecian diferencias entre las gestiones sobre la disponibilidad de agua ni la tasa de fijación de C, como posible consecuencia de dejar la misma cantidad de biomasa fotosintética en la masa con ambas gestiones: la GFI extrajo muchos más pies (pequeños principalmente) que la GFC, pero la GFC eliminó más pies de tamaño mediano-grande que la GFI.
- Pinar: ambas gestiones forestales mantuvieron a niveles bajos la vulnerabilidad de la masa a incendios de copas, si bien la GFC resultó ser más eficiente en la reducción de la cantidad, y continuidad, de biomasa. La GFI ha mostrado mantener la biodiversidad potencial de la masa a niveles iniciales, mientras que la GFC tuvo un efecto ligeramente negativo sobre la estratificación de la masa y la cantidad de madera muerta. Por otro lado, no se aprecian diferencias entre las gestiones sobre la disponibilidad de agua ni la tasa de fijación de C, como posible consecuencia de dejar la misma cantidad de biomasa fotosintética en la masa con ambas gestiones: la GFI extrajo muchos más pies (pequeños principalmente) que la GFC, pero la GFC eliminó más pies de tamaño mediano-grande que la GFI.

5. Referencias

- Ameztegui, A., Cabon, A., De Cáceres, M., Coll, L., 2017. Managing stand density to enhance the adaptability of Scots pine stands to climate change: A modelling approach. *Ecol. Modell.* 356, 141–150.
- De Cáceres, M., Martin-StPaul, N., Granda, V., Cabon, A., 2017. meteoland: Landscape Meteorology Tools. R package version 0.6.4.
- De Cáceres, M., Martínez-Vilalta, J., Coll, L., Llorens, P., Casals, P., Poyatos, R., Pausas, J.G., Brotons, L., 2015. Coupling a water balance model with forest inventory data to predict drought stress: the role of forest structural changes vs. climate changes. *Agric. For. Meteorol.* 213, 77–90.
- Larrieu, L., Gonin, P., 2008. L'indice de Biodiversité Potentielle (IBP): une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Rev. For. française*.
- Piqué, M., Valor, T., Larrañaga, A., Cervera, T., 2013. Integración de la prevención de incendios en la gestión forestal: tipologías forestales de Cataluña según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas. VI Congr. For. Español.
- Rodríguez-Calcerrada, J., Pérez-Ramos, I.M., Ourcival, J.-M., Limousin, J.-M., Joffre, R., Rambal, S., 2011. Is selective thinning an adequate practice for adapting *Quercus ilex* coppices to climate change? *Ann. For. Sci.* 68, 575–585.

6. Anejos

Tabla A1: Resumen de la composición del estrato arbóreo de las cuatro parcelas seleccionadas para la evaluación del balance hídrico y de carbono en los tres escenarios de gestión forestal.

Parcela	Especie arbórea	Pre-intervención (situación inicial)			Gestión Forestal Innovadora (Final-GFI) ^a			Gestión Forestal Convencional (Post-GFC) ^b		
		Densidad (pies/ha)	DN (cm)	Ht (m)	Densidad (pies/ha)	DN (cm)	Ht (m)	Densidad (pies/ha)	DN (cm)	Ht (m)
C1.01.P2 (encinar)	<i>Q. ilex</i>	751,6	17,0 ± 6,8	10,3 ± 1,5	596,8	17,0 ± 6,8	10,3 ± 1,5	530,5	14,2 ± 5,5	9,7 ± 1,2
	<i>A. unedo</i>	176,8	11,7 ± 5,6	7,4 ± 4,5	66,3	16,3 ± 8,1	11,1 ± 6,6	66,3	15,8 ± 7,8	10,7 ± 6,3
	<i>C. sativa</i>	154,7	21,8 ± 5,1	13,4 ± 1,5	110,5	23,7 ± 6,3	14,0 ± 0,8	154,7	21,8 ± 5,1	13,4 ± 1,5
	<i>P. avium</i>	132,6	17,0 ± 9,0	12,5 ± 1,6	110,5	19,5 ± 9,0	12,0 ± 1,5	132,6	17,0 ± 9,0	12,5 ± 1,6
	<i>I. aquifolium</i>	22,1	10,4	6,2	22,1	11,2	6,8	22,1	10,4	6,2
C2.13.P2 (castañar)	<i>C. sativa</i>	1336,9	17,1 ± 3,3	13,5 ± 1,3	1082,3	17,6 ± 4,6	13,3 ± 0,7	795,8	18,7 ± 2,9	14,0 ± 1,5
	<i>P. avium</i>	63,7	7,8 ± 0,2	9,9 ± 0,1	63,7	8,4 ± 0,9	10,0 ± 0,3	0,0	-	-
C3.03.P1 (robleal)	<i>Q. ilex</i>	596,8	14,9 ± 5,3	10,2 ± 1,8	287,4	16,5 ± 4,8	10,3 ± 1,1	442,1	12,9 ± 3,6	9,5 ± 1,0
	<i>Q. petraea</i>	265,3	33,1 ± 9,1	18,6 ± 3,3	44,2	42,5 ± 15,6	22,2 ± 5,5	176,8	34,3 ± 9,7	18,9 ± 3,4
	<i>P. avium</i>	88,4	11,6 ± 2,5	10,8 ± 0,5	44,2	13,6 ± 1,1	11,2 ± 0,3	88,4	11,6 ± 2,5	10,8 ± 0,5
	<i>C. canariensis</i>	44,2	52,9 ± 42,6	24,9 ± 14,3	176,8	39,3 ± 20,3	20,8 ± 6,8	22,1	83,0	35,0
	<i>C. sativa</i>	22,1	28,5	14,5	22,1	30,4	14,7	0,0	-	-
C4.05.P2 (pinar)	<i>Q. pubescens</i>	320,2	17,2 ± 8,2	11,3 ± 2,9	207,2	17,9 ± 10,5	11,7 ± 4,1	301,4	17,1 ± 8,5	11,2 ± 3,0
	<i>A. campestre</i>	263,7	11,5 ± 2,8	11,5 ± 1,0	226,0	11,2 ± 2,7	11,4 ± 1,0	244,9	11,6 ± 2,9	11,6 ± 1,0
	<i>P. sylvestris</i>	244,9	31,0 ± 9,8	16,3 ± 4,1	150,7	30,0 ± 9,2	15,7 ± 3,4	113,0	33,4 ± 6,5	17,6 ± 3,4
	<i>A. opalus</i>	169,5	14,1 ± 4,6	12,5 ± 1,7	150,7	14,0 ± 5,3	12,3 ± 1,7	131,8	12,9 ± 4,0	12,1 ± 1,6
	<i>Q. ilex</i>	56,5	10,1 ± 1,1	8,7 ± 0,3	56,5	11,2 ± 1,1	9,1 ± 0,3	56,5	10,1 ± 1,1	8,7 ± 0,3
	<i>S. aucuparia</i>	37,7	9,4 ± 0,7	10,8 ± 0,3	18,8	10,2	11,1	37,7	9,4 ± 0,7	10,8 ± 0,3
	<i>C. monogyna</i>	18,8	8,6	4,9	18,8	8,6	4,9	18,8	8,6	4,9
	<i>A. monspessulanum</i>	0,0	-	-	18,8	11,9	11,8	0,0	-	-

Nota: 'DN' es el diámetro normal medio de los pies con DN mayor a 7,5 cm y 'Ht' es la altura total media.

^a Datos observados dos o tres años después de la intervención.

^b Datos obtenidos de la parametrización de una gestión convencional sobre la masa inicial (pre-intervención).

Tabla A2: Resumen de la composición del sotobosque de las cuatro parcelas seleccionadas para la evaluación del balance hídrico en los tres escenarios de gestión forestal.

Parcela	Especie	Pre-intervención (situación inicial)		Gestión Forestal Innovadora (Final-GFI) ^a		Gestión Forestal Convencional (Post-GFC) ^b	
		Cobertura (%)	Altura (cm)	Cobertura (%)	Altura (cm)	Cobertura (%)	Altura (cm)
C1.01.P2 (encinar)	<i>Arbutus unedo</i>	-	-	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0
	<i>Cistus</i> sp.	-	-	5,0	3,0	5,0	3,0
	<i>Erica arborea</i>	5,5 ± 6,4	145,0 ± 63,6	-	-	-	-
	<i>Euphorbia</i> sp.	-	-	5,0	8,0	5,0	8,0
	<i>Hedera helix</i>	4,2 ± 2,3	65,5 ± 187,8	8,0 ± 3,5	7,8 ± 3,0	8,0 ± 3,5	7,8 ± 3,0
	<i>Lonicera xylosteum</i>	1,0	40,0	-	-	-	-
	<i>Populus</i> sp.	-	-	65,0	60,0	65,0	60,0
	<i>Pteridium aquilinum</i>	-	-	12,5 ± 10,6	19,0 ± 15,6	12,5 ± 10,6	19,0 ± 15,6
	<i>Quercus ilex</i>	-	-	70,0	80,0	70,0	80,0
	<i>Rubia peregrina</i>	3,8 ± 1,8	7,5 ± 3,5	5,0 ± 0,0	7,0 ± 1,4	5,0 ± 0,0	7,0 ± 1,4
	<i>Rubus</i> sp.	-	-	5,0	5,0	5,0	5,0
	<i>Rubus ulmifolius</i>	2,5	25,0	-	-	-	-
	<i>Smilax aspera</i>	3,7 ± 3,0	52,5 ± 77,0	15,7 ± 10,6	16,9 ± 9,6	15,7 ± 10,6	16,9 ± 9,6
C2.13.P2 (castañar)	<i>Crataegus monogyna</i>	12,5 ± 3,5	119,0 ± 114,6	10,0	30,0	10,0	30,0
	<i>Castanea sativa</i>	-	-	-	-	15,0	60,0
	<i>Fraxinus</i> sp.	-	-	7,1 ± 3,3	6,8 ± 1,0	7,1 ± 3,3	6,8 ± 1,0
	<i>Hedera helix</i>	5,4 ± 6,1	6,25 ± 2,3	9,2 ± 3,8	7,5 ± 2,6	9,2 ± 3,8	7,5 ± 2,6
	<i>Lonicera xylosteum</i>	1,0	10,0	-	-	-	-
	<i>Polygonatum</i> sp.	1,0	10,0	-	-	-	-
	<i>Pteridium aquilinum</i>	15,0	35,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	<i>Rosa</i> sp.	5,0	46,0	10,0	45,0	10,0	45,0
	<i>Rubus</i> sp.	-	-	7,5 ± 5,0	8,5 ± 1,3	7,5 ± 5,0	8,5 ± 1,3
	<i>Rubus ulmifolius</i>	4,6 ± 5,1	9,3 ± 4,5	-	-	-	-
	<i>Viburnum tinus</i>	-	-	15,0	35,0	15,0	35,0
	<i>Viola</i> sp.	4,3 ± 4,7	6,6 ± 2,1	6,9 ± 3,7	9,6 ± 4,7	6,9 ± 3,7	9,6 ± 4,7
C3.03.P1 (robleal)	<i>Clematis vitalba</i>	-	-	20,0	40,0	20,0	40,0
	<i>Daphne laureola</i>	10,0	5,0	-	-	-	-
	<i>Euphorbia</i> sp.	-	-	25,0 ± 14,1	46,5 ± 12,0	25,0 ± 14,1	46,5 ± 12,0
	<i>Hedera helix</i>	3,3 ± 2,3	5,5 ± 2,2	16,5 ± 11,4	8,5 ± 3,2	16,5 ± 11,4	8,5 ± 3,2
	<i>Lonicera xylosteum</i>	1,4 ± 0,7	10,6 ± 6,2	10,6 ± 4,6	18,7 ± 13,7	10,6 ± 4,6	18,7 ± 13,7
	<i>Poaceae</i>	-	-	5,0	5,0	5,0	5,0
	<i>Quercus ilex</i>	-	-	-	-	15,0	30,0
	<i>Rubia peregrina</i>	-	-	5,0	4,0	5,0	4,0
	<i>Rubus</i> sp.	-	-	20,0 ± 18,0	13,0 ± 8,2	20,0 ± 18,0	13,0 ± 8,2
	<i>Rubus ulmifolius</i>	2,5 ± 0,0	15,0 ± 8,7	-	-	-	-
	<i>Ruscus aculeatus</i>	5,3 ± 3,9	42,5 ± 10,6	17,5 ± 14,4	43,0 ± 26,0	17,5 ± 14,4	43,0 ± 26,0
	<i>Smilax aspera</i>	2,5	20,0	8,3 ± 5,8	26,7 ± 21,4	8,3 ± 5,8	26,7 ± 21,4
C4.05.P2 (pinar)	<i>Amelanchier</i> sp.	2,5	20,0	5,0 ± 0,0	8,5 ± 2,1	5,0 ± 0,0	8,5 ± 2,1
	<i>Anemone hepatica</i>	2,0 ± 1,7	5,0 ± 0,0	7,5 ± 4,0	4,7 ± 1,7	7,5 ± 4,0	4,7 ± 1,7
	<i>Buxus sempervirens</i>	80,0	75,0	8,3 ± 6,6	20,8 ± 12,5	8,3 ± 6,6	20,8 ± 12,5
	<i>Clematis vitalba</i>	-	-	5,6 ± 1,8	5,4 ± 1,9	5,6 ± 1,8	5,4 ± 1,9
	<i>Crataegus monogyna</i>	7,5 ± 6,6	85,0 ± 35,0	6,7 ± 5,0	9,2 ± 8,2	6,7 ± 5,0	9,2 ± 8,2
	<i>Daphne laureola</i>	1,4 ± 0,8	18,0 ± 21,7	12,9 ± 7,0	23,1 ± 8,0	12,9 ± 7,0	23,1 ± 8,0
	<i>Hedera helix</i>	6,0 ± 4,4	9,1 ± 8,6	11,9 ± 6,8	6,0 ± 1,7	11,9 ± 6,8	6,0 ± 1,7

Parcela	Especie	Pre-intervención (situación inicial)		Gestión Forestal Innovadora (Final-GFI) ^a		Gestión Forestal Convencional (Post-GFC) ^b	
		Cobertura (%)	Altura (cm)	Cobertura (%)	Altura (cm)	Cobertura (%)	Altura (cm)
	<i>Ilex aquifolium</i>	-	-	10,0 ± 7,1	26,7 ± 14,7	10,0 ± 7,1	26,7 ± 14,7
	<i>Phillyrea</i> sp.	1,4 ± 0,7	15,5 ± 8,2	-	-	-	-
	<i>Poaceae</i>	3,5 ± 3,5	10,0 ± 0,0	12,1 ± 12,2	30,0 ± 29,5	12,1 ± 12,2	30,0 ± 29,5
	<i>Quercus ilex</i>	-	-	5,0	5,0	5,0	5,0
	<i>Rosa</i> sp.	-	-	5,0 ± 0,0	17,5 ± 2,1	5,0 ± 0,0	17,5 ± 2,1
	<i>Rubia peregrina</i>	1,5 ± 0,8	5,6 ± 1,7	7,5 ± 3,2	13,4 ± 6,2	7,5 ± 3,2	13,4 ± 6,2
	<i>Rubus</i> sp.	-	-	10,0	24,0	10,0	24,0
	<i>Rubus ulmifolius</i>	1,0	10,0	-	-	-	-
	<i>Ruscus aculeatus</i>	13,1 ± 12,5	33,8 ± 14,9	19,0 ± 14,7	37,0 ± 14,0	19,0 ± 14,7	37,0 ± 14,0
	<i>Urtica</i> sp.	-	-	6,3 ± 2,5	7,3 ± 2,2	6,3 ± 2,5	7,3 ± 2,2
	<i>Viburnum lantana</i>	2,5	20,0	5,0	6,0	5,0	6,0
	<i>Viola</i> sp.	1,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	8,5 ± 5,3	6,5 ± 1,5	8,5 ± 5,3	6,5 ± 1,5

^a Datos observados dos o tres períodos vegetativos después de la intervención.

^b Datos obtenidos de la parametrización de una gestión convencional sobre la masa inicial Pre-intervención de las parcelas de seguimiento D2).

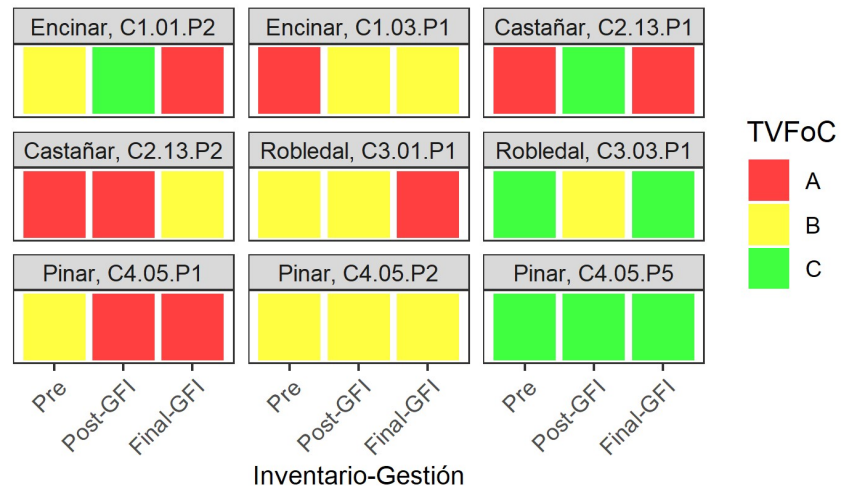


Figura A1: Efecto de la gestión forestal innovadora (GFI) en la vulnerabilidad estructural a incendios de copas (TVFoC) de las diferentes formaciones forestales y parcelas. 'Pre': inventario antes de la intervención; 'Post-GFI': inventario inmediatamente después de la intervención de la intervención; 'Final-GFI': inventario después de 2 o 3 años de la intervención. Las categorías de vulnerabilidad son alta ('A'), moderada ('B') y baja ('C').

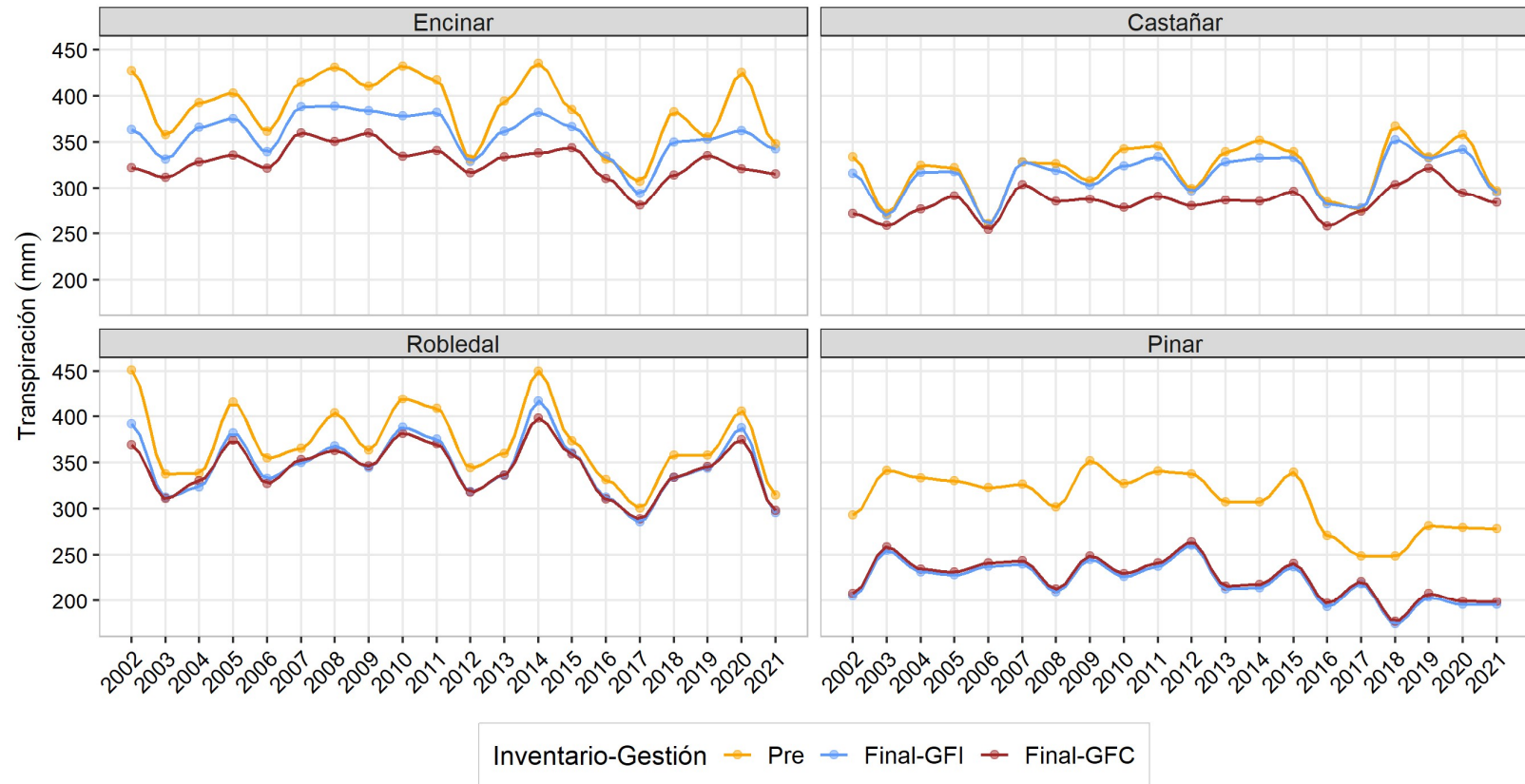


Figura A2: Efecto de las distintas gestiones forestales en la transpiración. ‘Pre’: inventario antes de la intervención (datos observados); ‘Final-GFI’: inventario 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención de la gestión forestal innovadora (datos observados); ‘Final-GFC’: inventario 2 o 3 periodos vegetativos después de la intervención de la gestión forestal convencional (datos simulados a partir de ‘Pre’).

Acción D4 – Seguimiento y evaluación de las acciones C1 – C4 sobre los servicios ecosistémicos

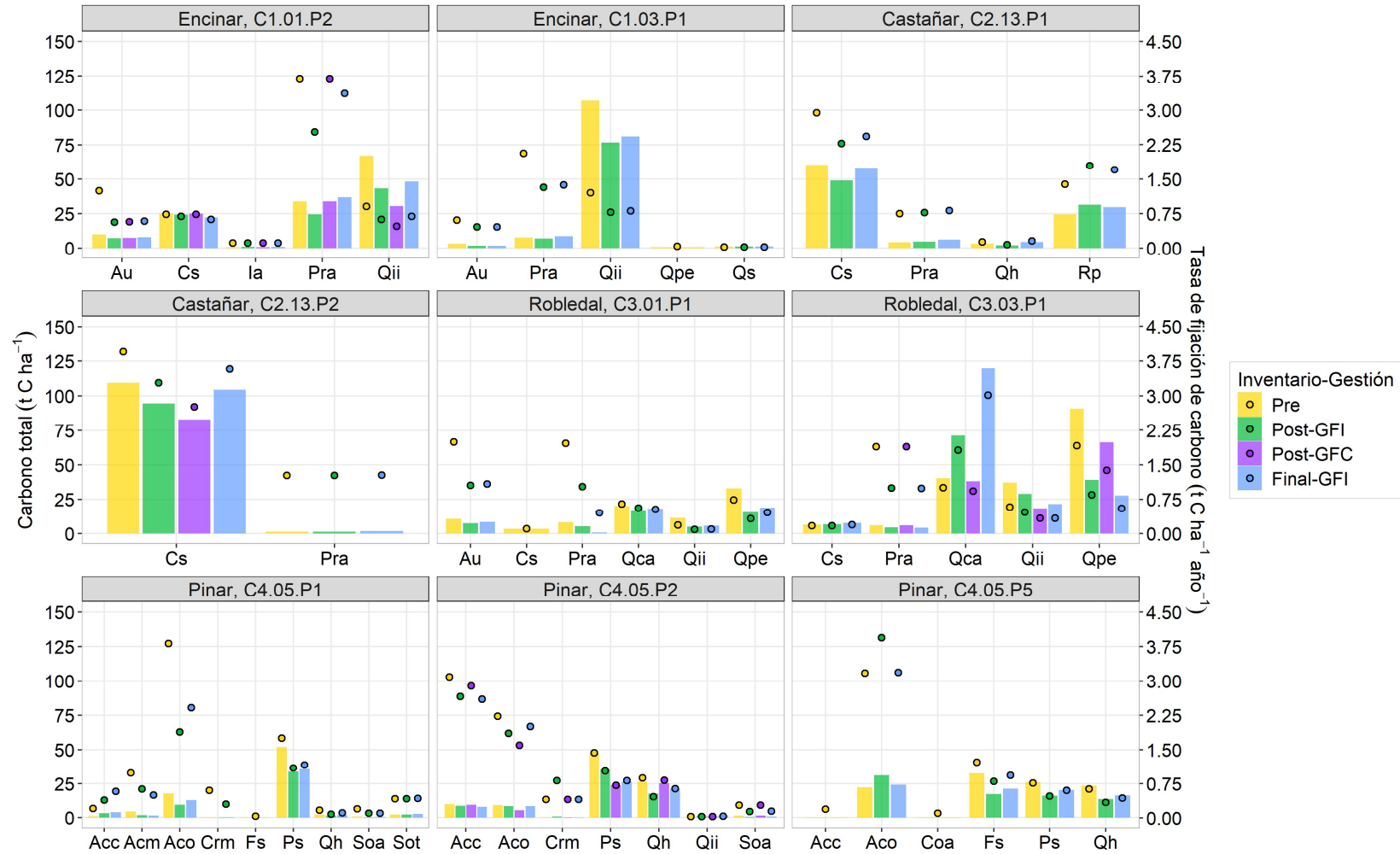


Figura A3: Efecto de las distintas gestiones forestales sobre el carbono fijado total (barras) y la tasa de fijación de carbono total (puntos) por especie arbórea en las diferentes formaciones forestales y parcelas. 'Pre': inventario antes de la intervención (datos observados); 'Post-GFI': inventario justo después de la intervención de la gestión forestal innovadora (datos observados); 'Post-GFC': inventario justo después de la intervención de la gestión forestal convencional (datos simulados a partir de 'Pre'); 'Final-GFI': inventario 2 o 3 años después de la intervención de la gestión forestal innovadora (datos observados). Especies: *Arbutus unedo* ('Au'), *Acer campestre* ('Acc'), *A. monspessulanum* ('Acm'), *A. opalus* ('Aco'), *Castanea sativa* ('Cs'), *Corylus avellana* ('Coa'), *Crataegus monogyna* ('Crm'), *Ilex aquifolium* ('Ia'), *Fagus sylvatica* ('Fs'), *Pinus sylvestris* ('Ps'), *Prunus avium* ('Pra'), *Quercus canariensis* ('Qca'), *Q. ilex* ('Qii'), *Q. petraea* ('Qpe'), *Q. pubescens* ('Qh'), *Q. suber* ('Qs'), *Robinia pseudoacacia* ('Rp'), *Sorbus aucuparia* ('Soa'), *S. torminalis* ('Sot').