



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-130

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Metodología de cálculo de la capacidad de sumidero de carbono de los modelos multifuncionales ORGEST

PORRAS MELÉNDEZ, D¹, RABASCALL MORERA, X.¹ y CERVERA ZARAGOZA, T.¹

¹Centro de la Propiedad Forestal. Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Ctra. B-140 de Sabadell a Santa Perpètua de Mogoda, km 4,5 Finca Torreferrussa. 08130 Santa Perpètua de Mogoda – Barcelona

Resumen

En el marco del proyecto LIFE+DEMORGEST se ha evaluado la capacidad de sumidero de carbono que presentaría la aplicación de modelos ORGEST (Orientaciones de Gestión Forestal Sostenible). Los principales objetivos del estudio han sido, por un lado, el desarrollo de una metodología de cálculo de la capacidad de sumidero de carbono aplicable a escala regional y, por otro, el análisis y comparación de los efectos que distintos modelos de gestión forestal tienen sobre la capacidad de sumidero de carbono de los bosques. La metodología fue elaborada en base a las directrices IPCC (2006) y se adaptó a escala regional (Cataluña) mediante el uso de factores específicos, siendo replicable a otras zonas si se dispone de los parámetros necesarios o mediante los facilitados por las mismas directrices IPCC (2006). Ésta ha permitido analizar el efecto de distintos tratamientos silvícolas y comparar distintos modelos de gestión forestal, así como valorar la adicionalidad que presenta la gestión forestal vs la no gestión gracias a modelizaciones realizadas para escenarios de “no gestión forestal”. Los resultados incluyen el carbono fijado en la biomasa, en la materia orgánica muerta, en los productos madereros obtenidos y las emisiones de carbono derivadas de la gestión forestal.

Palabras clave

Gestión forestal sostenible, sumidero de carbono, fijación carbono, mitigación, biomasa, IPCC, gases efecto invernadero.

1. Introducción

La capacidad de sumidero de carbono de los bosques es vital en el contexto de cambio climático que estamos viviendo. En España, según el inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI), en el año 2014, las tierras forestales absorbieron el 10% de las emisiones GEI. Sin embargo, esta capacidad de absorción puede disminuir y ya existen signos de que los bosques se encuentran en primeras fases de saturación en su función como sumideros de carbono, fenómeno desencadenado, fundamentalmente por los siguientes factores: la tasa de incremento en volumen de los árboles está decreciendo, la deforestación por el cambio de uso del suelo se está intensificando y los desastres naturales son más recurrentes (Nabuurs et al., 2013). De estos tres factores, los que más afectan al ámbito mediterráneo son el decrecimiento de la tasa de incremento del volumen del árbol y los desastres naturales, ambos evitables o mitigables (en el caso de los efectos de desastres naturales) a través de una adecuada gestión forestal. En el primer caso, una correcta gestión forestal regularía la competencia por los recursos entre árboles y por ende, la saturación del incremento en volumen. En el segundo caso, la gestión forestal puede crear masas forestales menos vulnerables al paso de incendios forestales o al efecto de vendavales o nevadas.

Las principales estrategias de mitigación del cambio climático en relación a los bosques se podrían agrupar en mantener y aumentar la capacidad de sumidero de carbono, lo que engloba la reducción de las emisiones procedentes de la deforestación, la reducción de las emisiones procedentes de la degradación forestal, el fortalecimiento de los sumideros forestales de carbono y la sustitución de productos (FAO, 2013). Ambas estrategias llevan necesariamente asociada la gestión forestal

sostenible, además, contribuyen a solucionar el problema de saturación de capacidad de sumidero de carbono anteriormente descrito.

Dada esta tesitura, se acentúa la importancia de evaluar la fijación de carbono y por ende la capacidad de sumidero de carbono de los bosques gestionados en comparación a los no gestionados así como las diferencias entre distintos modelos de gestión forestal. Actualmente, no existe una metodología común para el cálculo de la fijación de carbono de los bosques, básicamente por la dificultad de definir una escala temporal, a la incerteza que presenta el seguimiento del carbono en el bosque y a los múltiples escenarios que se pueden dar.

De esta necesidad surge la metodología creada para evaluar la capacidad de sumidero de carbono de los modelos ORGEST (Orientaciones de Gestión Forestal Sostenible de Cataluña) (Piqué et al., 2011). Los modelos ORGEST son manuales de información práctica, aplicable y actualizada que dan soporte al gestor forestal en el proceso de la toma de decisiones, desde la asignación de objetivos preferentes a la planificación y ejecución de las actuaciones. Tienen en cuenta el marcado carácter multifuncional de los terrenos forestales, de modo que abarcan las principales funciones o los posibles objetivos de gestión de los montes (producción, prevención de incendios, conservación de la biodiversidad, pasturas, uso social, etc.)

En el marco del proyecto LIFE+DEMORGEST y mediante la adaptación de las directrices del IPCC (International Panel on Climate Change) IPCC 2006 “Guía para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero” Volumen 4 (Agricultura, Silvicultura y otros usos del suelo), Capítulo 4 (Tierras Forestales)” aplicada a distintos modelos ORGEST, que realizó previamente el Instituto de investigación y tecnología agroalimentaria (IRTA), se evaluó la capacidad de sumidero de carbono resultado de la aplicación de los modelos ORGEST para *Pinus nigra* Arn., comparándolo con escenarios de no gestión forestal.

2. Objetivos

El objetivo principal es la adaptación de las directrices IPCC (2006) mencionada a una metodología que permita evaluar la capacidad de sumidero de carbono de los modelos ORGEST. Los objetivos específicos son:

- Comparar la capacidad de sumidero de carbono de distintos modelos de gestión forestal para una misma especie para evaluar cuál es más favorable en este objetivo.
- Comparar la capacidad de sumidero de carbono de los modelos ORGEST en comparación a escenarios de no-gestión.
- Determinar que depósitos de carbono tienen más importancia y dónde se deben centrar esfuerzos para una mejora de la metodología y cálculo de capacidad de sumidero de carbono.

3. Metodología

3.1. Límites del estudio

El presente estudio analiza la fijación de carbono de *Pinus nigra*, desde una hipotética regeneración/colonización natural (la definida como situación inicial en cada modelo ORGEST, ver ejemplo en Figura 1), hasta su extracción a pie de pista, contabilizándose el carbono almacenado en la madera extraída, en un horizonte temporal de 150 años. Este horizonte temporal supondrá que algunos modelos se analicen más de una rotación. Además, a modo de simplificación, no se considera ninguna perturbación (incendios, plagas, etc).

Al analizar el bosque como marco de estudio también se añaden las emisiones de carbono debidas a la utilización de la maquinaria necesaria para realizar las actuaciones silvícolas como son la motosierra, la desbrozadora y el tractor forestal.

<i>Paràmetres silvícoles del model</i>										
H ₀ (m)	N (peus/ha)	D _e (cm)	AB (m ² /ha)	VAE (m ³ /ha)	Edat (anys)	Actuacions	Nc (peus/ha)	C/AF*	VAEc (m ³ /ha)	ABe (%)
6	>4.000	6	-	-	12-16	Aclarida de plançonedada selectiva amb radi mínim 1 m	>2.200	-	-	-
10	1.800	14	27	104	20-24	Aclarida selectiva i poda	800	1,8	23	22
14	1.000	22	37	199	29-37	Aclarida selectiva i poda	450	1	44	22
17	550	29	37	239	39-49	Aclarida selectiva mixta	200	0,6	56	23
19	350	34	32	236	48-60	Tallada preparatòria	175		96	41
21	175	~40	23	184	61-75	Tallada disseminatòria	105		110	60
22	70		10	87	69-85	Tallada final	70		87	100

Figura 1. Modelo Pn01 de *Pinus nigra*, se parte de una situación inicial con más de 4000 pies/ha.

3.2. Directrices del IPCC (2006) para los inventarios de GEI (Gases de Efecto Invernadero).

Las directrices del IPCC en Tierras forestales describen 3 niveles de detalle para los cálculos de balance de carbono, que se diferencian básicamente por el nivel de precisión de los datos utilizados.

Nivel 1: La aplicación del Nivel 1 puede realizarse mediante estimaciones de datos, valores y factores por defecto facilitados por la misma guía IPCC.

Nivel 2: Se puede utilizar si hay datos específicos del país.

Nivel 3: Permite la aplicación con datos de inventario específicos del país, región o un nivel de escala inferior

En el presente trabajo se han utilizado valores de nivel 2 y 3 ajustados a los datos de los modelos ORGEST o extraídos a partir de datos de inventarios de Cataluña.

Según IPCC (2006) en los estudios de ecosistemas forestales se distinguen 3 depósitos principales:

- 1) Biomasa (Biomasa aérea y subterránea)
- 2) Materia orgánica muerta (Madera muerta y hojarasca)
- 3) Carbono del suelo

Estos depósitos tienen unas entradas y salidas de carbono (Figura 2). Tal y como se describe a continuación, no todas las entradas y salidas están dentro del alcance del presente estudio.

1) Depósito de Biomasa (Biomasa aérea y subterránea):

- La entrada en este depósito es el crecimiento de la biomasa.
- Las salidas son los aprovechamientos forestales (madera comercial), toda la madera no comercial (restos de corta de claras y clareos), la mortalidad y en el caso de perturbación el carbono que se perdería por esta (una parte se emite a la atmósfera, otra parte se incorporará al siguiente depósito, y puede darse el caso que queden árboles en pie aprovechables como madera

comercial). En el presente estudio no se ha considerado ninguna perturbación, por lo tanto tampoco ninguna de sus transferencias de carbono.

2) Depósito de Materia orgánica muerta (MOM)

- Las entradas son la mortalidad, los restos de corta (el mismo valor que es una salida en el depósito de biomasa) y los restos de una posible perturbación.
- Las salidas es la descomposición en forma de emisiones de carbono.
- En el presente estudio no se han tenido en cuenta las salidas de carbono por descomposición de MOM por falta de datos representativos.

3) Depósito de Carbono en el suelo:

- En este depósito se parte de unas existencias de carbono de referencia y se calcula el cambio de las existencias durante el periodo estudiado debido al cambio en el sistema de uso del suelo, cambio debido a régimen de gestión y cambio debido al aporte de la materia orgánica. En el presente estudio no se ha considerado este depósito por no verse afectado.

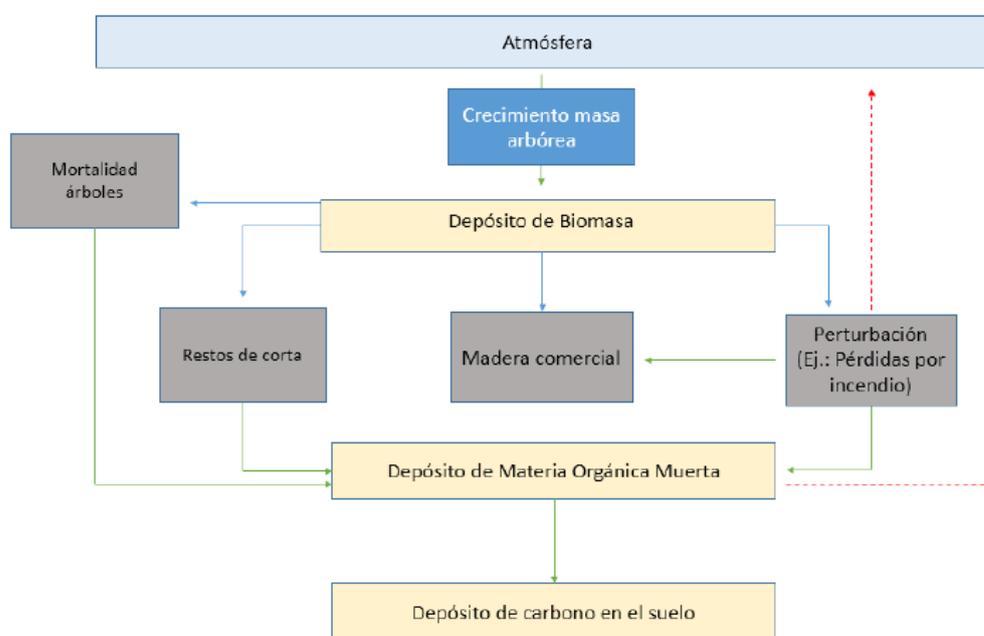


Figura 2. Depósitos de carbono, transferencias y emisiones de carbono.

Metodología y fórmulas utilizadas:

Para la cuantificación de las existencias de carbono se ha seguido la metodología descrita por “Tierras que permanecen en la misma categoría de uso” en la cual se presentan dos métodos:

- Método de pérdidas y ganancias
- Método de diferencia de existencias

El Método de diferencia de existencias es el apropiado para los niveles 2 y 3, cuando se dispone de datos de inventarios a nivel nacional o regional y se puede obtener datos de carbono en los distintos depósitos (Biomasa, Materia Orgánica Muerta, Suelo) en dos momentos distintos.

El Método de pérdidas y ganancias, también se adapta a Niveles 2 y 3. Para el presente estudio en el que se calcula el carbono fijado al aplicar los modelos ORGEST y es de interés predecir el carbono que habrá en distintas etapas de la aplicación del modelo, este método es el más útil y eficaz.

Formulas Método de pérdidas y ganancias para la biomasa

1.1) ΔCB . Cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa (t C/año)

$$\Delta CB = \Delta CG - \Delta CL$$

Dónde:

ΔCG : Aumento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa (t C/año)

ΔCL : Reducción anual de las existencias de carbono debido a la pérdida de biomasa (t C/año)

1.1.1 ΔCG . Aumento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa (t C/año)

$$\Delta CG = A \times G_{total} \times CF$$

Dónde:

- A: superficie de tierra que permanece en la misma categoría de uso (ha)
- G_{total} : crecimiento medio anual de la biomasa (t m.s/ha año)
- CF: Fracción de carbono de materia seca (t C/t m.s)
 - G_{total} . Crecimiento medio anual de la biomasa (t m.s/ha año).

$$G_{total} = Iv \times BCEF \times (1+R)$$

- Iv= incremento anual neto promedio (crecimiento neto) (m³/ ha/año)
- BCEF: Factor de conversión y expansión de biomasa (t m.s/m³)
- R: Relación biomasa subterránea y aérea.

1.1.2. ΔCL . Reducción anual de las existencias de carbono debido a la pérdida de biomasa (t C/año)

$$\Delta CL = L_{aprovechamientos} + L_{madera-combustible} + L_{perturbaciones}$$

Dónde:

$L_{aprovechamientos}$: pérdida anual de carbono debido a aprovechamientos comerciales de la madera (t C/ha).

Laprovechamientos: $H \times BCEF \times (1+R) \times CF$

Dónde:

H= extracciones anuales de madera ($m^3/año$)

- En la metodología creada "Laprovechamientos" se contabilizará como una ganancia de carbono. En las directrices IPCC (2006) "Laprovechamientos" es una pérdida de carbono en tierras forestales, pero por otra parte se contabilizaría como carbono fijado en "Productos de madera recolectada", correspondiente al capítulo 12 del volumen 4 de IPCC (2006).

Lmadera-combustible: pérdida anual de carbono debido a aprovechamientos de madera de combustible ($t C/año$).

Lmadera-combustible= $[(FGarboles \times BCEF \times (1+R) + FGpartes \times D) \times CF]$.

Dónde:

- FGárboles: volumen anual de extracción de árboles enteros para combustible (m^3/ha). (Árboles no comerciales).

- FGpartes: volumen anual de extracción de partes de árboles para combustible (m^3/ha). (Copas)

- En el presente caso de estudio en "Lmadera-combustible" se contabilizan los árboles no comerciales procedentes de los clareos, y los restos de corta de las claras (copas de los árboles con destino comercial). Árboles no comerciales y restos de corta que se dejan en el bosque.

- D: densidad de la madera ($ton m.s/m^3$)

Lperturbación. Pérdidas anuales de carbono debido a perturbaciones ($t C/año$).

Lperturbación= $Aperturbación \times Bw \times (1+R) \times CF \times fd$

Dónde:

- Aperturbación: superficie afectada por perturbaciones ($ha/año$).

- Bw: biomasa aérea promedio de superficies de tierra afectada per perturbaciones ($ton m.s/ha$).

- fd: fracción de biomasa perdida per perturbaciones. Este factor varia de 0 a 1 según la afectación (0 no se pierde res 1 se pierde el 100%).

- En el presente estudio no se consideran perdidas por perturbaciones.

Fórmulas método de pérdidas y ganancias materia orgánica muerta

2.1) $\Delta CDOM$. Cambio anual en las existencias de carbono en el depósito de madera muerta y hojarasca.

$\Delta CDOM = A \times [(DOMin - DOMout)]$

Dónde

- A: superficie gestionada (ha)

- DOMin: transferencia anual promedio de biomasa al depósito de materia orgánica muerta debido a procesos y perturbaciones (ton C/ha-año).
- DOMout: pérdida de carbono promedio anual por descomposición y perturbaciones en el depósito de materia orgánica muerta (ton C/ha-año).

2.1.1 DOMin. Total de carbono de la biomasa transferido a materia orgánica muerta (t C/año).

$$\text{DOMin} = [\text{Lmortalidad} + \text{Lbroza} + (\text{Lperturbación} \times \text{fBLol})]$$

Dónde:

- Lmortalidad: transferencia anual de carbono de la biomasa al DOM debido a mortalidad (t C/año).

$$\text{Lmortalidad} = A \times Gw \times CF \times m$$

Dónde:

- A: Superficie de tierra gestionada (ha).
- Gw: crecimiento de la biomasa aérea (ton m.s/ha).
- m: tasa de mortalidad expresada como a fracción del crecimiento de la biomasa aérea.

- Lbroza: transferencia anual de carbono de la biomasa al DOM en forma de restos de corta (t C/año). (copas y árboles sin destino comercial)

$$\text{Lbroza} = [H \times \text{BCEF} \times (1+R) - H \times D] \times CF$$

- H: extracción anual de madera comercial (m³/ha)
- Este valor es el mismo que la pérdida en el depósito de biomasa por madera de combustible (restos de corta, clareos y copas).
- fBLol: fracción de biomasa que se deja descomponer en el suelo (transferida materia orgánica muerta) debido a pérdidas por perturbaciones.

- Lperturbación x fBLol

fBLol : Fracción de biomasa que se deja descomponer en el suelo (transferida a materia orgánica muerta) por perdidas debidas a perturbaciones.

2.1.2. DOMout. Pérdida de carbono promedio anual por descomposición y perturbaciones en el depósito de materia orgánica muerta (ton m.s/ha año).

3.2.1 Factores para *Pinus nigra*

Para la aplicación de la metodología se requiere de distintos factores para transformar de unas unidades a otras o para deducir una fracción de biomasa a partir de otra. Los necesarios para el presente estudio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Factor expansión biomasa, fracción de carbono en biomasa y relación biomasa aérea-subterránea

Factores	<i>Pinus nigra</i>
Factor expansión biomasa (BCEF) (t m.s./m ³) ¹	0,63
Fracción de carbono (FC) (t C/t m.s.) ¹	0,5
Relación biomasa aérea-subterránea (R) (t m.s biomasa subterránea/t m.s biomasa aérea) ²	0,24

¹Montero *et al.* (2005)

²Ruíz-Peinado *et al.* (2012).

3.3. Escenario no-gestión forestal

Se ha simulado la evolución natural que seguiría una masa forestal no gestionada para las especies objeto de estudio, con el fin de comparar la gestión (ORGEST) con la no gestión.

Se ha calculado una predicción de crecimientos, número de pies, altura dominante, diámetro, área basimétrica, volumen y mortalidad que se daría sin ningún tipo de intervención sobre la masa. El punto de partida ha sido la situación inicial marcada en los distintos modelos ORGEST.

Para *Pinus nigra* la metodología para la simulación ha sido la siguiente:

- 1- Determinación de la relación altura-edad utilizando la fórmula facilitada en el artículo de Palahí y Grau (2003) y partiendo de los datos del manual ORGEST de *Pinus nigra* que indica las relaciones entre altura dominante y edad según las cualidades de estación (Beltrán *et al.* 2012).
- 2- Determinación del diámetro y volumen, función de la altura dominante. Formulas creadas a partir de datos del Inventario Forestal Nacional por el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (Comunicación personal).
- 3- Determinación del número de pies para cada edad a partir de la fórmula del SDI (Índice de densidad de la masa) (Beltrán *et al.* 2012).
- 4- Determinación de la mortalidad; la autoclara aparece cuando se alcanza el 60% del SDI (Long, 1985, Beltrán *et al.* 2012).

4. Resultados

Los resultados obtenidos se han separado entre los modelos con objetivo preferente “aumento de la resistencia al fuego” y resto de modelos que tienen objetivo productivo o productivo-preventivo. Se presenta el carbono acumulado en 150 años para cada modelo y para los distintos depósitos, y también el total de carbono fijado anualmente, además, para cada calidad de estación se presenta un escenario de “no gestión” para la comparación con los distintos modelos a aplicar en la misma calidad de estación.

Los resultados de la Tabla 2 se muestran también en forma de gráfica (Figura 3), en ambas se puede observar como todos los modelos ORGEST de *Pinus nigra* presentan una fijación de carbono superior a las simulaciones de masas forestales no gestionadas. En el caso de modelos a usar en calidades de estación alta, la diferencia entre los modelos ORGEST y el escenario de no gestión es considerable, el modelo que alcanza la máxima diferencia es el Pn04, aunque el resto también presenta valores importantes, destacando el Pn02 y Pn05, modelos que proponen una gestión mediante estructura irregular. Al fijarnos en los modelos para calidad de estación media la diferencia entre gestión y no

gestión disminuye aunque para el modelo Pn07 se obtienen resultados bastante superiores al modelo Pn06 y al escenario de no gestión. Finalmente, en calidades de estación bajas no se observan diferencias importantes entre gestión y no gestión. En la Tabla 2, también se muestran los resultados de las emisiones de la maquinaria utilizada en la gestión forestal, estos son menospreciados en comparación a la fijación anual que presentan los distintos depósitos de biomasa.

Tabla 2. Fijación de carbono de los modelos ORGEST de *Pinus nigra*.

Calidad de estación	Modelo ORGEST	Biomasa		Carbono MOM (t C/ha)	TOTAL (150 años) (t C/ha)	TOTAL (anual) (t C/ha-año)	Emisiones maquinaria (t C/ha-año)
		C biomasa aérea (t C/ha)	Carbono biomasa subterránea (t C/ha)				
A	Pn01	170,5	51,3	66,7	288,5	1,93	5E-03
A	Pn02	210,6	61,2	71,9	343,6	2,29	6,8E-03
A	Pn03	183,2	62	60,2	305,2	2,03	5E-03
A	Pn04	218,7	66,6	80	365,3	2,43	4,5E-03
A	Pn05	215,2	59,8	69,8	344,7	2,3	6,8E-03
A	No gestión	115,9	27,8	50	193,7	1,29	-
B	Pn06	81	28	36,5	145,6	0,97	2,6E-03
B	Pn07	155,1	42,7	49,8	247,7	1,65	4,8E-03
B	No gestión	94,8	22,7	17,5	135	0,9	-
C	Pn09	53,1	18,33	23,3	94,7	0,63	2,6E-03
C	No gestión	75,5	18,1	3,6	97,21	0,65	-

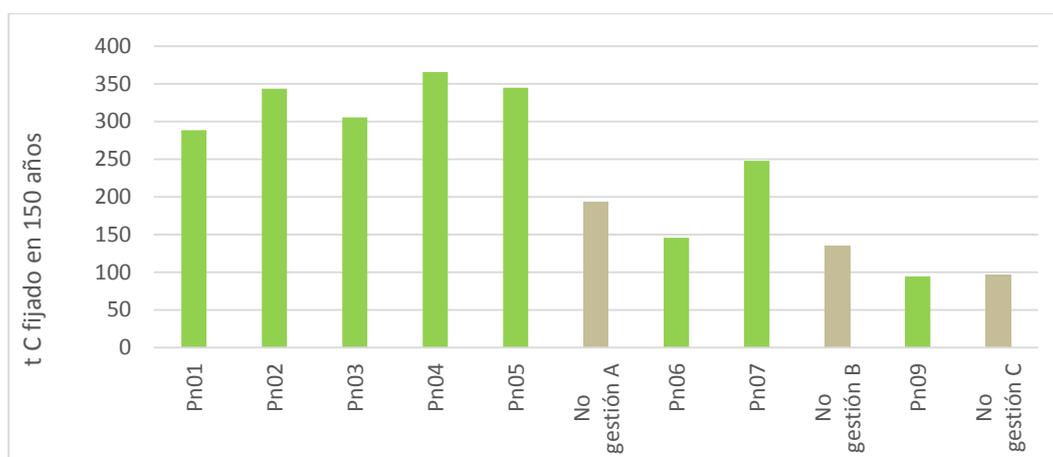


Figura 3. Fijación carbono modelos ORGEST *Pinus nigra*.

Como se ha mencionado, los modelos ORGEST con objetivo preferente “aumento de la resistencia al fuego” presentan unas características distintas al resto, su interés es el de mantener una estructura forestal de baja vulnerabilidad al paso de incendios forestales y no un crecimiento en volumen y producción maderera óptima (aunque también la haya). Esto resulta en la imposibilidad de aplicar la metodología de manera completa (se desconoce el volumen de madera a extraer en cada intervención que será función de la estructura objetivo). En efecto, estos modelos son importantes por el hecho de contribuir a la prevención de incendios forestales y por tanto las emisiones de CO₂ asociadas a incendios forestales más que por su capacidad de fijación de carbono per se, además proponen intervenciones silvícolas suaves y poco frecuentes con la finalidad de reducir costes. Todo ello resulta en que estos modelos presenten resultados similares o incluso menores a los escenarios de no-gestión.

Tabla 3. Fijación de carbono de los modelos ORGEST con objetivo preferente de aumento de la resistencia al fuego.

Calidad de estación	Modelo ORGEST	Fijación de carbono total (150 años) (t C/ha)	Fijación de carbono (anual) (t C/ha-año)
C	Pn08	102,8	0,68
C	Pn10	84,7	0,56

5. Discusión

Gestión forestal sostenible (ORGEST) VS No gestión

Los modelos ORGEST mejoran la fijación de carbono en comparación a los escenarios de no gestión, siendo esta fijación casi el doble en algún caso. La modelización realizada para analizar la evolución natural del bosque presenta crecimientos menores (estancamiento del volumen de la masa forestal) que cuando se aplican los modelos ORGEST, lo que resulta en una menor fijación de carbono a los 150 años. El estancamiento de la masa forestal puede dar lugar a que el bosque sea una fuente de carbono en lugar de un sumidero.

Diferencias entre modelos de gestión ORGEST

En la aplicación de la metodología sobre los modelos ORGEST de *Pinus nigra* se observa como los modelos con una mayor capacidad de fijación de carbono son aquellos que presentan turnos relativamente cortos (Pn04 para calidad de estación alta y Pn06 para calidad de estación media), en estos se maximiza el crecimiento medio anual y consecuentemente se maximiza la fijación de carbono anual. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en turnos largos se acumula más carbono en la madera que se obtendrá en la corta final, se alcanzan diámetros superiores y se podrán obtener productos con una vida útil superior (muebles, construcción, etc.), lo que resultaría en un almacenamiento de carbono durante más tiempo. En efecto, mediante la aplicación del modelo Pn04 se obtiene madera de aproximadamente 30 cm de diámetro mientras que con el modelo Pn03 se alcanzarían los 40 cm, lo que resulta en más carbono fijado, y, a priori, por más tiempo (vida útil superior).

Los modelos que proponen una gestión mediante estructura irregular también presentan una fijación de carbono anual alta (Pn02 y Pn05), las intervenciones periódicas para mantener la distribución de referencia suponen un crecimiento medio constante y por lo tanto una tasa de fijación de carbono anual constante, además estos modelos siempre tienen una cantidad importante de carbono fijada en árboles en pie.

Depósitos de carbono

Como se observa en las tablas, el depósito que almacena más carbono es la biomasa aérea, contribuyendo entre el 60-80% del total de carbono fijado en todos los modelos. El posterior uso de la madera así como su final de vida (reciclaje, deposición en vertedero, incineración, etc.) es de gran importancia en la mitigación del cambio climático ya que según estos, el carbono permanecerá más o menos tiempo almacenado.

En referencia al depósito biomasa subterránea, se observan valores inferiores de fijación de carbono en la biomasa subterránea respecto al resto de depósitos para en la especie objeto de estudio (*Pinus nigra*). Cabe destacar que también hay diferencias entre los escenarios de gestión y no gestión en la biomasa subterránea. El incremento de biomasa de la raíces es superior cuando se realiza una gestión sostenible ya que estas tendrán más espacio y más recursos a su alcance, además con la regeneración natural habrá una nueva masa arbórea con nuevas raíces que seguirán fijando más carbono.

La materia orgánica muerta funciona con procesos dinámicos de difícil predicción e influenciados por distintos factores, según los resultados obtenidos este depósito no es muy relevante como almacén de carbono (18-22% del carbono total fijado), pero no se debe obviar las múltiples funciones vitales que este provee a niveles ecosistémicos y su papel como transporte de carbono en el suelo, donde este si permanecerá durante un largo periodo de tiempo

Emisiones de las actuaciones silvícolas

En la evaluación de las emisiones directas de las actuaciones silvícolas de los distintos modelos ORGEST se observa que estas corresponden a un porcentaje muy bajo sobre el carbono total fijado por el bosque (0,1-0,4%). Las emisiones de una actuación silvícola como un clareo, clara o corta de regeneración devienen en mínimas si se reparten en los años totales de un turno o varios, además cobran menor importancia cuanto más madera comercial se extraiga, ya que el ratio de fijación de carbono anual es superior a las emisiones anuales procedentes de la maquinaria.

6. Conclusiones

La adaptación realizada de las directrices del IPCC (2006) resulta útil para evaluar la capacidad de sumidero de carbono de los modelos ORGEST y puede ser aplicada también a cualquier tipo de escenario o caso de estudio.

La aplicación de la metodología sobre los modelos ORGEST de *Pinus nigra* permite concluir que los modelos ORGEST presentan una capacidad de sumidero de carbono superior a los escenarios de no-gestión, en todas las calidades de estación, y que el itinerario silvícolas que se siga y los objetivos que se busquen tendrán influencia en la capacidad de sumidero de carbono de los bosques

Se debe realizar un esfuerzo en la obtención de valores estándares de las dinámicas de funcionamiento del depósito de materia orgánica muerta y el suelo a escala regional y/o por formaciones forestales que sean de utilidad para estudios de fijación de carbono y que permitan

conocer con más profundidad la relevancia de estos en el ciclo del carbono. También en homogeneizar y definir un escenario común para este tipo de estudios.

7. Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias al instrumento financiero de la Unión Europea LIFE, en concreto gracias al proyecto LIFE+DEMORGEST LIFE12 ENV/ES/000730.

Agradecer Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA) quien inició el presente estudio y al Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC) quien ha dado soporte en varias de las etapas del trabajo.

8. Bibliografía

BELTRAN M.; VERICAT P.; PIQUE, M.; CERVERA T. 2012. Models de gestió per als boscos de pinassa (*Pinus nigra* Arn.): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medo Natural. Generalitat de Catalunya.

FAO. 2013. Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Estudio FAO Montes N°172. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

IPCC; (2006). Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 4 (Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra). Capítulo 4 (Tierras Forestales).

LONG J. 1985. A practical approach to density management. *Forest Chronicles*, 61:23-27.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. 2016. INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERANDERO DE ESPAÑA. SERIE 1990-2014. INFORME RESUMEN.

MONTERO G.; RUIZ-PEINADO R.; MUÑOZ. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal. Ministerio de Educación y Ciencia

NABUURS, G-J.; LINDNER, M.; Verkerk P.; Gunia K.; Deda P.; Michalak R.; Grassi G.; 2013. First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nat.clim.change*, 792–796.

PALAHÍ M.; GRAU J.2003. Preliminary site index model and individual-tree growth and mortality models for black pine (*Pinus nigra* Arn.) in Catalonia (Spain). *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12 (1): 137-148

PIQUE, M.; VERICAT P.; CERVERA T.; BAIGES T.; FARRIOL T. 2011. Tipologies forestals arbrades. Sèries: Orientacions de gestió Forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya.

RUIZ-PEINADO R.; MONTERO G.; DEL RIO M. 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. Forest Systems, 21 (1), 42-52.