



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-246

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Secuestro de carbono para diferentes alternativas de manejo selvícola de *Pinus pinaster* Ait. en el norte de España

PRADA, M.¹, CANGA, E.¹, HEVIA, A. y MARTÍNEZ-ALONSO, C.¹.

¹ Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS), Pumarabule s/n, Carbayín bajo, Siero, Asturias, España.

Resumen

Los bosques y sus actividades de gestión, desempeñan un papel importante en el secuestro de carbono. El estudio de las diferentes alternativas selvícolas donde entran en juego variables tales como, la realización de claras, el turno de corta o el destino de la madera extraída, es esencial para desarrollar nuevas estrategias que optimicen la gestión forestal hacia el producto final y maximicen la captura de carbono con un mínimo impacto ambiental. El objetivo de este estudio es cuantificar y evaluar el flujo de carbono en los diferentes reservorios de carbono de la biomasa arbórea, suelo y productos maderables para distintos escenarios selvícolas de *Pinus pinaster* Ait. en Asturias. La herramienta utilizada para la simulación de los escenarios fue el modelo CO2FIX. La parametrización del modelo se hizo en función de la edad, usando datos de crecimiento (fuste, ramas, acículas y raíces), climáticos, periodo de retorno de la biomasa forestal, de aprovechamiento maderero y vida media de los productos. Se evaluaron cinco escenarios diferentes en función del sistema de aprovechamiento de la especie y de los índices de sitio.

Palabras clave

Pino pinaster, CO2FIX, mitigación del cambio climático, productos maderables.

1. Introducción

El principal objetivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) es la estabilización de los gases de efecto invernadero (GEI) de forma que se pueda evitar la interferencia de acciones antropogénicas peligrosas con el sistema climático (UNFCCC, 1992). Esto permite garantizar la producción y el desarrollo económico de manera sostenible, mediante la adaptación de los ecosistemas de forma natural al cambio climático (UNFCCC, 1992). Una de las conclusiones del acuerdo de la COP21 de París, fue el compromiso de los países para llegar a un equilibrio entre los GEI emitidos y los que pueden ser absorbidos para la segunda mitad de siglo XXI (UNFCCC, 2015). Sin embargo, en España, los GEI se han incrementado en un 15% desde 1990 a 2014 (MAGRAMA, 2016a) y en un 3,56% entre 2014 y 2015 (MAGRAMA, 2016b).

En este contexto, los bosques pueden actuar como sumideros de carbono mediante la absorción del CO₂ atmosférico, por lo que el conocimiento del ciclo del carbono en la dinámica forestal, permitirá conocer las cantidades de carbono acumuladas, así como los lugares de almacenamiento y los flujos entre los distintos compartimentos (biomasa, madera muerta, suelo y productos) de una masa forestal. Además, cuando los bosques son gestionados, el carbono absorbido mediante la fotosíntesis puede verse afectado de diferentes maneras, ya sea permaneciendo en aquellos árboles que han sido cortados y que posteriormente se transformarán en diferentes productos, permaneciendo en el suelo a través de los restos de corta o por ejemplo en los productos maderables donde permanecerá almacenado hasta el final de su vida útil. De esta manera, la gestión forestal puede influir de forma significativa en la forma y cantidad de carbono almacenado a través de diversos factores, como por ejemplo los regímenes de claras.

La posibilidad de múltiples alternativas de gestión selvícola hace, que el desarrollo de modelos predictivos que permitan conocer la evolución del almacenamiento de carbono bajo diferentes escenarios de manejo a lo largo del tiempo, suponga una herramienta esencial para evaluar sus efectos de mitigación frente al cambio climático (PÉREZ-CRUZADO et al, 2012). Así, en los últimos años se han desarrollado diferentes estudios que evalúan aquellas actividades selvícolas en las que el objetivo de obtener un beneficio en la producción de madera sea compatible con maximizar la fijación de secuestro de carbono (ÁLVAREZ et al, 2014; BRAVO et al, 2008; GOETZ et al, 2013; KAIPAINEN et al, 2004; NABUURS & SCHELHAAS, 2002; SCHELHAAS et al, 2004; MACHADO et al, 2015; MASERA et al, 2003; MATHIEU et al, 2012; PÉREZ-CRUZADO et al, 2012; RUIZ-PEINADO et al, 2013; THORNLEY & CANNEL, 2000).

El carbono retenido en la madera tiene varias funciones asociadas a la mitigación del cambio climático (VALSTA et al, 2008): se puede almacenar en productos en uso o en vertederos, los productos madereros se pueden emplear en la sustitución de materiales que tengan mayores emisiones de GEI y la madera puede ser usada para bioenergía en diferentes etapas de su ciclo de vida. Su tiempo de residencia dependerá del tipo de productos a los que se destine la madera, ya sean de corta, media o larga duración, su destino final (vertedero, reciclaje o producción de energía) y de la eficiencia del proceso de transformación en la conversión de los productos.

En España existe una larga historia en industria forestal que actualmente cubre una gama de actividades de transformación primaria (PÉREZ-CRUZADO et al, 2012). En Asturias, el cultivo de *Pinus pinaster* tiene cierta tradición, aunque en los últimos 30 años ha sufrido una importante sustitución por el eucalipto. Sin embargo, en el suroccidente ha sido introducido masivamente por la administración forestal en los últimos 20 años. Su carácter más frugal que el pino radiata y con menos problemas fitosanitarios, han sido elementos, que le han permitido ocupar muchas zonas, que estaban destinadas al pino radiata. Especialmente en los últimos años en el marco de los programas de ayudas forestales ha sufrido una fuerte expansión (BOPA, 2015). Respecto a su gestión, los tratamientos más habituales suelen ser una roza, clareo y poda, mientras que las cortas intermedias (claras) no suelen ser habituales en la región.

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es evaluar la variación del secuestro de carbono en las distintas fracciones del sistema forestal (biomasa, suelo y productos) en función de diferentes alternativas selvícolas en masas de *Pinus pinaster* Ait. en Asturias, y determinar el efecto de sustitución del uso de los combustibles fósiles por productos madereros.

3. Metodología

a. Zona de estudio

La zona de estudio se localiza en el norte de la Península Ibérica, en el Principado de Asturias (España), siendo la especie objeto de simulación el pino marítimo (*Pinus pinaster* Ait.)). Las masas referentes a esta especie se extienden desde el nivel del mar, hasta alcanzar los 900-1000 m, con diferentes orientaciones y pendientes. La temperatura media anual es de 13,5° C siendo la precipitación anual de 960 m³. El suelo es húmedo con suficiente humedad retenida durante el año, salvo un mes en verano donde se produce cierta sequía estacional, asentándose en terrenos silíceos sobre suelos de tipo ranker húmedo o tierra parda húmeda. En Asturias la especie ocupa un total de 22.523,05 Ha (MAGRAMA, 2013) con un volumen total de cortas de 71.323 m³ en 2014 (SADEI, 2016).

b. Modelo CO2Fix

La herramienta usada para la simulación de escenarios selvícolas fue el modelo CO2FIX (MASERA et al, 2003; SCHELHAAS et al, 2004) que cuantifica de forma simplificada el

almacenamiento de carbono de una masa forestal proporcionando información sobre el flujo y balance de carbono en el tiempo, permitiendo realizar simulaciones para múltiples rotaciones. CO2FIX v 3.1. (<http://www.efi.fi/projects/casfor/>) está compuesto por seis módulos: biomasa, suelo, productos, bioenergía, financiero y contabilidad de carbono. En este trabajo se consideraron los cuatro primeros módulos, puesto que se evaluó toda la cadena monte-industria.

El módulo de biomasa estima el carbono fijado en la biomasa a partir del incremento volumétrico anual del tronco, ramas, hojas y raíces, mortalidad natural, competencia, mortalidad por gestión forestal y características de los tratamientos selvícolas a simular. Este módulo se parametrizó en función de la edad. La información relativa a la producción de madera (crecimiento corriente anual, CAI, $\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{año}$) se obtuvo a través de las tablas de producción de *P. pinaster* en Asturias, elaboradas por el CETEMAS (datos no publicados) a partir de las ecuaciones del modelo dinámico publicados por ARIAS-RODIL et al (2015) y los esquemas selvícolas del principado de Asturias (BOPA, 2015) para tres calidades de estación diferentes: 10, 14 y 18 metros a una edad de referencia de 20 años. La mortalidad no fue incluida en el módulo de biomasa, al ser ya considerada en las tablas de producción.

El cálculo del carbono almacenado en el fuste se realizó considerando el CAI, la densidad de la madera y su contenido en carbono (Tabla 1). El cálculo del almacenamiento de carbono en el resto de los compartimentos de biomasa (hojas, ramas y raíces) se calculó como fracciones relativas al ratio de crecimiento de la biomasa del fuste y sus respectivos contenidos de carbono (SCHELHAAS et al, 2004). La estimación de la biomasa de hojas, ramas y raíces se efectuó aplicando los porcentajes de peso seco de cada una de las fracciones arbóreas consideradas con respecto a la biomasa aérea total (Tabla 1). La mortalidad en función del manejo y la competencia no se consideraron en este estudio por ausencia de datos.

Tabla 1. Parámetros usados en la parametrización del módulo de biomasa y de suelo del modelo CO2FIX.

Parámetros	<i>P. pinaster</i>	Fuente
Contenido de carbono (%)		
Fuste	0.57	HEVIA, 2013
Ramas	0.57	HEVIA, 2013
Acículas	0.57	HEVIA, 2013
Raíces	0.50	IPCC, 2006
Densidad de la madera (Kg/m^3)	0.54	BRAVO & MONTERO, 2008
Turnover rate (year^{-1})		
Ramas	0.02	SCHELHAAS et al, 2004
Acículas	0.33	SCHELHAAS et al, 2004
Raíces	0.02	SCHELHAAS et al, 2004

El módulo de suelo describe la descomposición y dinámica de carbono en suelos bien drenados según el modelo Yasso (LISKI et al, 2005), proporcionando el valor total de C orgánico, sin distinguir entre los diferentes horizontes, en función de los datos climáticos de la zona de estudio (suma de temperaturas de todos los días del año que superen los 0°C , precipitación y evapotranspiración potencial durante el periodo de crecimiento de la masa) y el aporte de materia orgánica anual de las fracciones de biomasa (fuste, ramas, hojas y raíces) que es incorporada al suelo ("turnover"). Los datos climáticos medios se obtuvieron de trabajo previo realizado por HEVIA (2013) y el aporte de las distintas fracciones al suelo de valores por defecto del modelo CO2FIX (SCHELHAAS et al, 2004).

El módulo de productos sigue el rastro del carbono en la madera desde su aprovechamiento hasta su transformación en diversos productos y su destino final (MASERA et al, 2003). Para ello clasifica el material recién extraído del monte en diferentes subproductos (madera aserrada, madera para desintegración, papel o leña) en función del tamaño de las trozas. La distribución de la materia prima para la elaboración de los distintos productos se llevó a cabo de acuerdo con el

aprovechamiento de madera de pino que se realiza actualmente en Asturias. Para ello se contactó con los principales aserraderos de la zona de estudio, y se consideraron los siguientes productos maderables en función del tamaño de la troza y la calidad de la madera, según la actual explotación del pino en la región: rastrel, tarima, tabla, palé y viga. Así como el porcentaje destinado a cada producto y/o subproducto.

El módulo de productos distingue tres categorías de productos finales en función de su vida útil: largo, medio y corto plazo. Las vigas al ser material destinado para construcción se clasificaron como producto de larga duración (EGGERS, 2002), con una vida útil de 40 años (MATHIUE et al, 2012). El rastrel, la tarima, el palé y la tabla, por su posibilidad de ser utilizadas en la fabricación de muebles y como embalaje, se consideraron de vida media (15 años de vida media). Y los pellets al ser utilizados para bioenergía se consideraron productos de corta duración (1 año de vida media), a partir de los parámetros por defecto del CO2FIX, por falta de datos primarios (En el caso de los productos de larga y media duración se consideró el final de su vida útil en vertedero, y para el caso de los productos de corta duración se consideró su destino final como bioenergía).

Finalmente, el módulo de bioenergía, se utilizó para medir la sustitución del uso de los combustibles fósiles por biomasa, ayudando así a la mitigación de los GEI. Los datos que se usan en este módulo provienen por una parte del módulo de biomasa refiriéndose a la cantidad de madera que se deja en el suelo tras el aprovechamiento y por otra del módulo de productos, debido tanto a la pérdida de materia prima en la fabricación del producto que se quiere obtener, como al destino final de los productos cuando en este caso su destino final es la bioenergía. En este módulo se usaron los valores por defecto de CO2FIX, exceptuando el poder calorífico de la especie (20,93 MJ/Kg) (IDAE, 2011).

c. Selección del número de escenarios a simular

La selección del número de escenarios simulados se realizó en función del sistema de aprovechamiento de la especie y de los índices de sitio en la región. Se seleccionaron los esquemas selvícolas para el aprovechamiento de pino marítimo siguiendo el catálogo de los modelos selvícolas del principado de Asturias (BOPA, 2015). Se eligieron tres modelos, manteniendo la nomenclatura donde se publicó:

- **Modelo PP1:** válido para montes pequeños, no agrupados, en zonas de fuertes pendientes que impiden mecanizar los trabajos y donde hay un mercado de maderas delgadas. El resultado final es una masa monoespecífica con una amplia distribución de clases diamétricas, cuyo producto final es una madera de bajo valor añadido. En este caso el sistema de aprovechamiento consiste en una única corta final a la edad del turno.

- **Modelo PP2:** Interesante para propietarios que no desean intervenir intensivamente el monte, siendo el escenario final una masa regular con amplia distribución de clases diamétricas, donde la calidad de la madera es mejor que la anterior. Se realiza una clara y corta final.

Los índices de sitio (IS) utilizados se corresponden con la altura dominante de 10, 14 y 18 años a una edad de referencia de 20 años. De la combinación de ambos factores se decidieron simular 5 escenarios selvícolas: 10PP1, 14PP1, 14PP2, 18PP1, 18PP2.

d. Simulación de las alternativas de manejo selvícolas

Una vez realizada toda la parametrización del modelo se plantearon los cinco escenarios selvícolas (Tabla 2). Se simularon cinco rotaciones, para poder observar la evolución de la masa en función de las alternativas de manejo propuestas a lo largo del tiempo. La determinación del turno de corta se obtuvo de las tablas de producción elaboradas por el CETEMAS para cada uno de los escenarios simulados. La cantidad de restos de corta dejados en el monte tras el aprovechamiento,

se consideró hasta un diámetro en punta delgada de 7 cm, más acículas en el caso de las claras y en el caso de la corta a hecho lo anterior más toda la biomasa de copa.

Tabla 2. Itinerario selvícola de los escenarios simulados en pino marítimo

Escenario	Edad (años)	Operación selvícola	N _a (pies/ha)	N _d (pies/ha)	Madera para transformación	Restos de corta
10PP1	58	Corta a hecho	1057	-	90 %	10 %
14PP1	48	Corta a hecho	1104	-	90 %	10 %
14PP2	15	Clara	1272	800	90 %	10 %
	44	Corta a hecho	800	-	80 %	20 %
18PP1	41	Corta a hecho	1137	-	90 %	10 %
18PP2	15	Clara	1272	800	90 %	10 %
	37	Corta a hecho	800	-	80 %	20 %

4. Resultados

a. Carbono almacenado en la biomasa, suelo, productos y bioenergía

El carbono almacenado en la biomasa aérea (fuste, ramas y acículas) y radicular permaneció constante a lo largo del tiempo en todos los escenarios evaluados (Figura 1). La cantidad de carbono almacenado al final de cada turno fue de 460,04, 520,47, 648,16, 329,95 y 380,7 MgC/ha para los escenarios 10PP1, 14PP1, 18PP1, 14PP2 y 18PP2 respectivamente. La cantidad de carbono acumulado en el fuste fue aumentando en función de la calidad de estación, si comparamos sólo los tratamientos iguales, por ejemplo PP1 o PP2. Sin embargo, cuando se comparan todos los escenarios la cantidad de carbono almacenado en todas las fracciones de biomasa, disminuyó a medida que aumentó el número de intervenciones selvícolas en la masa.

En el caso del suelo (Figura 2), se observó una estabilidad con un ligero aumento a lo largo del tiempo en el carbono almacenado independientemente del escenario evaluado, tanto en los escenarios con claras como en aquellos donde se realiza una única corta final, siendo esta cantidad de 251,99, 259,31, 334,82, 287,62 y 352,92 MgC/ha para los escenarios 10PP1, 14PP1, 18PP1, 14PP2, y 18PP2 respectivamente. Al igual que en la biomasa, la cantidad de carbono acumulado en el suelo, aumentó a medida que aumenta la calidad de estación, pero disminuyó con el aumento de las intervenciones selvícolas.

La fracción de madera destinada a cada uno de los productos que llega al aserradero varió en función del manejo realizado. Viga, tabla, tablonés y postes se obtuvieron en la corta final de los escenarios PP2. Mientras que la madera destinada a biomasa (serrín, corteza y virutas) se obtuvo tanto de la corta final de los escenarios PP1 y en la primera clara de los escenarios PP2, así como parte de subproductos de otros productos.

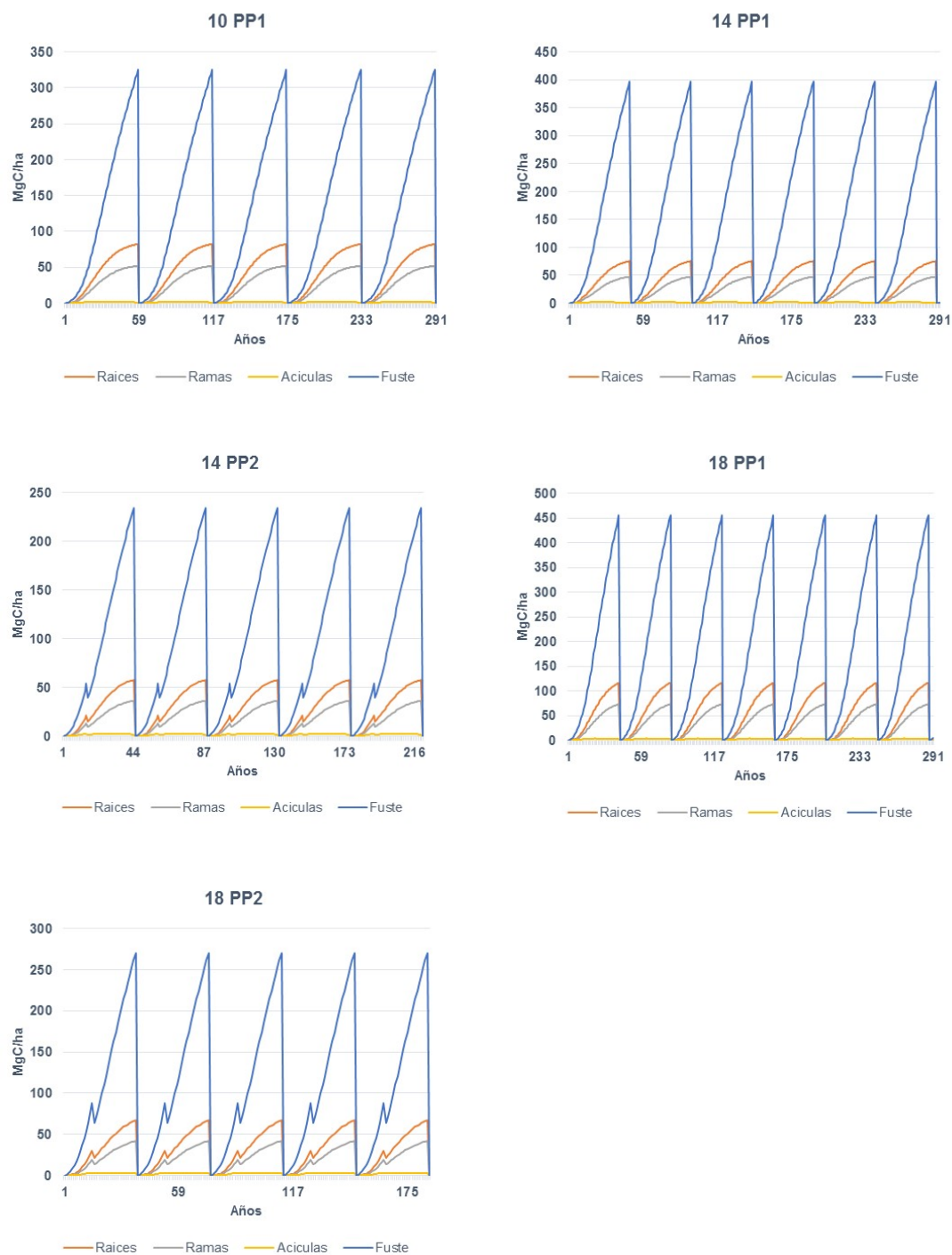


Figura 1. Cantidad total de carbono acumulado en cada una de las fracciones de biomasa (fuste, ramas, acículas y raíces) en cada escenario evaluado

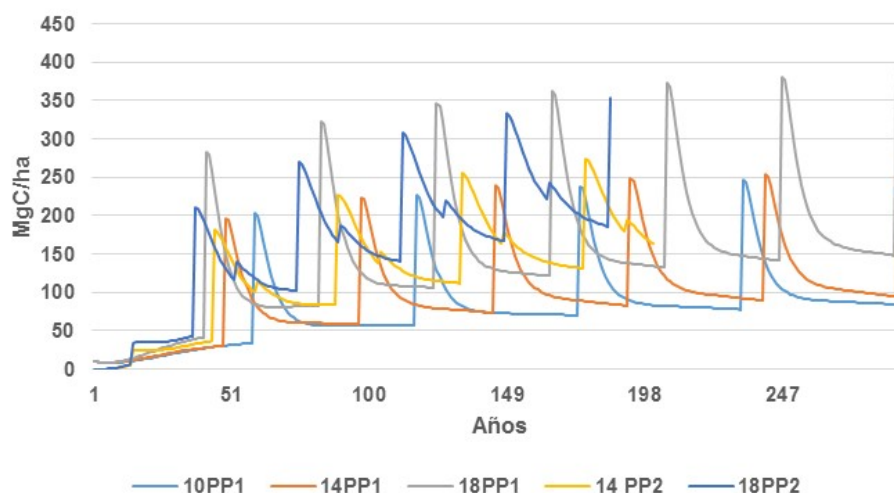


Figura 2. Cantidad total de carbono acumulado en el suelo en cada escenario evaluado.

Como consecuencia en los escenarios PP1 sólo se obtuvieron productos de corta duración (Figura 3), por lo que al final de cada rotación se obtuvo 267,51, 327,54 y 378,38 MgC/ha en los escenarios 10PP1, 14PP1 y 18PP1 respectivamente. En los escenarios PP2, la realización de claras permitió obtener productos de corta, media y larga duración. Así, al final de la rotación en el escenario 14PP2 la cantidad de 53,11, 49,08 y 74,53 MgC/ha, en el 18PP2, la cantidad de 61,47, 56,80 y 67,36 en productos de larga, media y corta duración. Respecto al carbono almacenado en los productos El escenario 18PP2 fue el que más carbono acumuló (Figura 4).

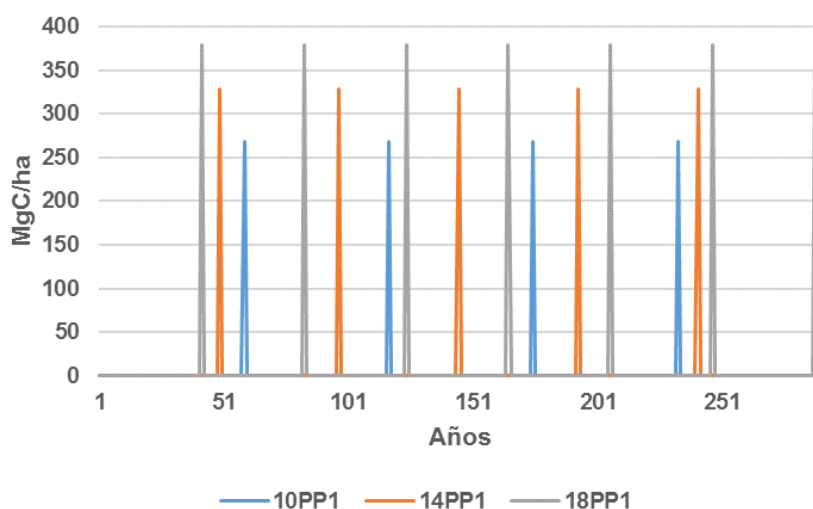


Figura 3. Cantidad de carbono almacenada en los productos obtenidos en los escenarios PP1.

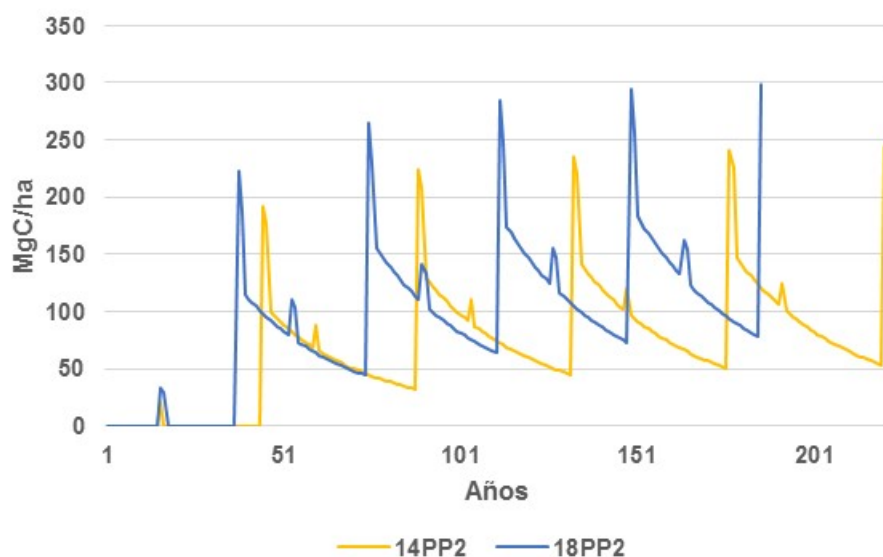


Figura 4. Cantidad de carbono almacenada en los productos obtenidos en los escenarios PP2.

La cantidad de carbono que no es emitida a la atmósfera, como resultado del efecto de sustitución del uso de los productos forestales en vez de los combustibles fósiles aparece representada en la figura 5. Los valores de este parámetro decrecen por el siguiente orden de escenarios $18PP1 > 14PP1 > 10PP1 > 18PP2 > 14PP2$, observado un mayor almacenamiento de carbono a mejor calidad de estación. Además, la ausencia de cortas intermedias (escenarios PP2), provocó que se acumule más carbono tal y como se observa en los escenarios PP1.

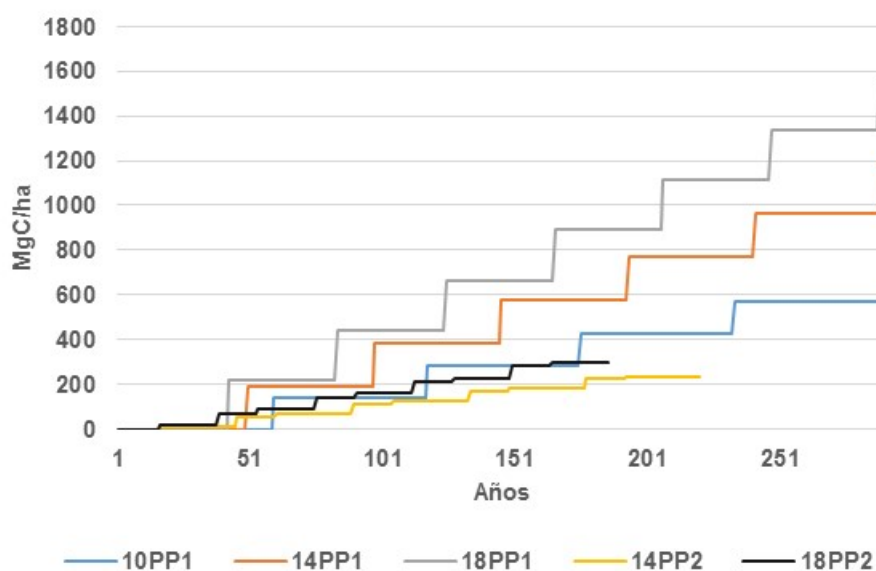


Figura 5. Cantidad de carbono acumulada como bioenergía en los distintos escenarios evaluados.

b. Carbono total

Desde el punto de vista del almacenamiento total del carbono, los escenarios PP1 fueron los más interesantes (Tabla 3). Se observó una disminución del carbono en función del aumento de las intervenciones silvícolas (claras), observándose significativamente en la calidad 18. Además, la cantidad de carbono que se acumuló en cada una de las fracciones evaluadas, muestra como los diferentes tratamientos silvícolas influyeron en el carbono total al final de la rotación, observándose una clara influencia positiva de la calidad de estación.

Tabla 3. Suma del carbono total almacenado para todas las fracciones en los escenarios simulados.

Escenario	Biomasa (MgC/ha)	Suelo (MgC/ha)	Productos (MgC/ha)	Bioenergía (MgC/ha)	Total (MgC/ha)
10PP1	460,04	251,99	297,33	566,37	1115,60
14PP1	520,47	254,00	363,94	769,46	1387,61
14PP2	329,95	287,62	243,95	236,61	768,18
18PP1	648,16	372,54	420,42	888,88	1669,51
18PP2	380,70	352,92	298,42	298,48	949,82

5. Discusión

La gestión forestal del pino marítimo en Asturias ha estado tradicionalmente, y de forma mayoritaria, vinculada a la producción de madera. Sin embargo, el papel de los ecosistemas forestales en la mitigación del cambio climático hace que debamos plantearnos nuevos objetivos en el manejo forestal de ésta y otras especies en la región, incorporando aspectos claves como la fijación de carbono en la gestión forestal. Además, el estudio del almacenamiento de carbono para distintos escenarios selvícolas permite conocer la influencia de la gestión forestal en los flujos y balances del carbono a lo largo del tiempo, a través de la utilización de modelos predictivos.

En este estudio la cantidad de carbono que se almacenó en la biomasa permaneció constante al final de cada rotación y de cada escenario selvícola, no observándose una influencia significativa de la gestión forestal. Este mismo efecto se observó en el carbono almacenado en el suelo, ya que permaneció constante a lo largo del tiempo en cada uno de los escenarios simulados. Este hecho ya fue observado por otros autores tanto para coníferas como para frondosas (NABUURS & SCHELHASS, 2002; MASERA et al, 2003, RUIZ-PEINADO et al, 2013), constituyendo un factor muy importante para poder realizar una gestión forestal sostenible, debido a la ausencia de una influencia negativa de las claras en el almacenamiento de carbono en el suelo. Sin embargo, al considerar el almacenamiento de carbono total, incluyendo los productos maderables, se observó una influencia positiva de la gestión forestal y de la calidad de estación. El almacenamiento de carbono de los productos mostró una influencia positiva en aquellos escenarios donde se realizó una intervención de clara (14PP2 y 18PP2) debido a la existencia de productos de larga y media duración. Dicha tipología de productos se encuentra ausente en el resto de los escenarios (10PP1, 14PP1 y 18PP2). Esto nos indica la importancia de considerar no sólo el almacenamiento de carbono en los productos, sino también la tipología de los mismos y por tanto su vida útil y su destino final (PROFT et al, 2009; ÁLVAREZ et al, 2014), ya que a mayor vida útil, mayor va a ser el tiempo que el carbono permanece retenido, sin ser emitido a la atmósfera. Por eso se considera fundamental incorporar y considerar el carbono almacenado en los productos maderables para poder realizar una evaluación completa del impacto de los bosques en la mitigación del cambio climático, así como su efecto de sustitución para no subestimar el potencial del sector forestal (KARJALAINEN et al, 1994).

En este trabajo la simulación de las alternativas selvícolas están basadas en el catálogo de modelos selvícolas del Principado de Asturias, por lo que los resultados obtenidos son importantes para poder evaluar una futura gestión que considere la fijación de C. Es importante considerar que cuando se evalúa el sistema forestal en su conjunto se observa que la realización de cortas intermedias provoca una disminución en la cantidad del carbono total acumulado al final del turno (HODGMAN et al, 2012; PRADA et al, 2016). Sin embargo, cabe destacar la ausencia de trabajos

previos en la región para la especie de estudio por lo que trabajos futuros se desarrollarán para evaluar los escenarios de gestión que consideren otras opciones como la extensión de los turnos de corta para atenuar el efecto de las claras en el tiempo (LISKI et al, 2001; KAUL et al, 2010).

En relación al uso de biomasa como fuente de energía y su efecto de sustitución de otros materiales con mayor consumo energético, se observó en este estudio un aumento de la capacidad de almacenamiento de carbono en los sistemas forestales evaluados al considerar la opción de la bioenergía. Sin embargo, este efecto de sustitución depende del proceso de transformación de la biomasa, la eficiencia en el proceso de transformación y el material al que sustituirán los productos madereros (PÉREZ-CRUZADO et al, 2012).

La realización de estudios de este tipo es fundamental para poder establecer aquellas alternativas de gestión selvícolas más adecuadas para las diferentes regiones y especies existentes, considerando el contexto actual de cambio climático. Esto permite que no solo sean prioritarios los objetivos de producción de madera, sino que de forma conjunta con objetivos de valor medioambiental como es el almacenamiento de carbono, puedan alcanzar los escenarios selvícolas que combinen ambos factores. Este hecho es importante ya que las iniciativas de secuestro de carbono sólo tienen sentido si hay buena probabilidad de persistencia a largo plazo de las existencias de carbono creadas (RODRÍGUEZ-LOINAZ et al, 2013).

6. Conclusiones

El modelo CO2FIX fue parametrizado para evaluar diferentes escenarios de gestión selvícola en masas de pino pinaster del norte peninsular (Asturias). En función del tipo de gestión aplicada se encontraron diferencias en la capacidad de almacenamiento de carbono del sistema evaluado. A medida que el número de intervenciones selvícolas aumentó, la cantidad de carbono almacenado en el sistema disminuyó. Sin embargo, la existencia de productos de larga y media duración permite que el carbono permanezca retenido más tiempo. Este tipo de productos solo aparecen en los escenarios donde se realizaron claras. Por último, si el efecto de sustitución es considerado, la capacidad de almacenamiento de carbono aumenta considerablemente, versus sino se considera dicha opción.

La importancia de este estudio radica en la evaluación de las alternativas selvícolas, ya que están basadas en el catálogo de modelos selvícolas del principado de Asturias, por lo que los resultados obtenidos son importantes para poder evaluar una futura gestión que considere aspectos productivos y medioambientales como la fijación de carbono del sistema forestal.

7. Agradecimientos

El Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS) de Asturias quiere expresar su agradecimiento a la Consejería de Agroganadería y Recursos autóctonos junto con la Dirección General de Política Forestal del Principado de Asturias, así como al aserradero Maderas García Hermanos.

8. Bibliografía

ÁLVAREZ, S.; ORTIZ, C.; DÍAZ-PINÉS, E.; RUBIO, A.; 2014. Influence of tree species composition, thinning intensity and climate change on carbon sequestration in Mediterranean mountain forests: a case study using the CO2Fix model. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. doi 10.1007/s11027-014-9565-4.

ARIAS-RODIL, M; BARRIO-ANTA, M; DIÉGUEZ-ARANDA, U; 2015. Developing a dynamic growth model for maritime pine in Asturias (NW Spain): comparison with nearby regions. *Ann. Forest Sci.* DOI 10.1007/s13595-015-0501-x.

BOPA; 2015; Núm. 295 de 22-xii-2015. Catálogo de los Modelos Selvícolas del Principado de Asturias y el Referente Técnico de Buenas Prácticas Forestales.

BRAVO, F.; DEL RÍO, M.; BRAVO-OVIEDO, A.; DEL PESO, C.; MONTERO, G.; 2008. Forest Management Strategies and Carbon Sequestration. En: Bravo, F., LeMay, V., Jandl, R., von Gadow, K., (eds) Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change. pp 179-194. Springer, Berlin.

BRAVO, A.; MONTERO, G.; 2008. Descripción de los caracteres culturales de las principales especies forestales de España. En: Serrada, R., Montero, M., Reque, J. (Eds.), Compendio de Silvicultura Aplicada en España, 2. Inia y Fucovasa, Madrid, pp. 1039-1114.

BRAVO-OVIEDO, A.; RUIZ-PEINADO, R.; MODREGO, P.; ALONSO, R.; MONTERO, G.; 2015. Forest thinning impact on carbon stock and soil condition in Southern European populations of *P. sylvestris* L. *Forest Ecol Manag* 357 259-267.

EGGERS, T.; 2002. Implications of wood product manufacturing and utilization for the european carbon budget. European forest institute. Internal Report 9.

GOETZ, R. U.; HRITONENKO, N.; MUR, R.; XABADIA, A.; YATSENKO, Y.; 2013. Forest management for timber and carbon sequestration in the presence of climate change: The case of *Pinus Sylvestris*. *Ecol Econ* 88 86-96.

HEVIA, A.; 2013. Influencia de la poda en el desarrollo de masas de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Aiton en Asturias. Universidad de Santiago de Compostela. Tesis doctoral, Lugo.

IDEA; 2011. Evaluación del potencial de energía de la biomasa. Estudio técnico PER 2011- 2020. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

IPCC; 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental panel of climate change, Japan.

KAIPAINEN, T.; LISKI, J.; PUSSINEN, A.; KARJALAINEN, T.; 2004. Managing carbon sinks by changing rotation length in European forests. *Environ Sci Policy* 7 205-219.

KARJALAINEN, T.; KELLOMÄKI, S.; PUSSINEN, A.; 1994. Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon. *Silva Fenn* 28 (2) 67-80.

KARJALAINEN, T.; PUSSINEN, A.; LISKI, J.; NABUURS, G.J.; ERHARDT, M.; EGGERS, T.; SONNTAG, M.; MOHREN, G.M.J.; 2002. An approach towards an estimate of the impact of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget: Germany as a case study. *Forest Ecol Manag* 162 (1) 87-103.

LISKI, J.; PALOSUO, T.; PELTONIEMI, M.; SIEVÄNEN, R.; 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecol Model* 189 168-182.

MACHADO, R. R.; CONCEIÇÃO, S. V.; LEITE, H. G.; DE SOUZA, A. L.; WOLFF, E.; 2015. Evaluation of forest growth and carbon stock in forestry projects by system dynamics. *J Clean Prod* 96 520-530.

MAGRAMA-MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE; 2016a. Inventario de gases de efecto invernadero de España. Serie 1990-2014. Informe resumen. Madrid.

MAGRAMA-MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE; 2016b. Nota informativa sobre el avance de emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes al año 2015. Madrid.

MATHIEU, F.; NINGRE, F.; ROBERT, N.; FRÉDÉRIC, M.; 2012. Quantifying the impact of forest management on the carbon balance of the forest-wood product chain: A case study applied to even-aged oak stands in France. *Forest Ecol Manag* 279 176–188.

MASERA, O.R.; GARZA-CALIGARIS, J.F.; KANNINEN, M.; KARJALAINEN, T.; LISKI, J.; NABUURS, G.J.; PUSSINEN, A.; DE JONG, B.H.J.; MOHREN, G.M.J.; 2003. Modeling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V. 2 approach. *Ecol Model* 164 177-199.

NABUURS, G.J.; SCHELHAAS, M.J.; 2002. Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX. *Ecol Ind* 1 213-223.

PÉREZ-CRUZADO, C.; MOHREN, G.M.J.; MERINO, A.; RODRIGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2012. Carbon balance for different management practices for fast growing tree species planted on former pastureland in southern Europe: a case study using the CO2Fix model. *Eur J Forest Res* 131 1695-1716.

PRADA, M.; BRAVO, F.; BERDASCO, L.; CANGA, E.; MARTÍNEZ-ALONSO, C.; 2016. Carbon sequestration for different management alternatives in sweet chestnut coppice in northern Spain. *J Clean Prod* 135 1161–1169.

RODRIGUEZ-LAINA, G.; AMEZAGA, I.; ONAINDIA, M.; 2013. Use of native species to improve carbon sequestration and contribute towards solving the environmental problems of the timberlands in Biscay, northern Spain. *J Environ Manag* 120 18-36.

RUIZ-PEINADO, R.; BRAVO-OVIEDO, A.; LÓPEZ-SENEPLEDA, E.; MONTERO, G.; RÍO, M.; 2013. Do thinnings influence biomass and soil carbon stocks in Mediterranean maritime pinewoods?. *Eur J Forest Res* 132 253-262.

RUIZ-PEINADO, R.; BRAVO-OVIEDO, A.; MONTERO, G.; RÍO, M.; 2014. Carbon stocks in a Scots pine afforestation under different thinning intensities management. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* doi: 10.1007/s11027-014-9585-0.

SCHELHAAS, M.J.; VAN ESCH, P.W.; GROEN, T.A.; DE JONG, B.H.J.; KANNINEN, M.; LISKI, J.; MASERA, O.; MOHREN, G.M.J.; NABUURS, G.J.; PALOSUO, T.; PEDRONI, L.; VALLEJO, A.; VILÉN, T.; 2004. CO2FIX V 3.1 A modelling framework for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems. Alterra, Wageningen.

SADEI; 2016. Sociedad asturiana de estudios económicos e Industriales.

THORNLEY, J. H. M.; CANNEL, M. G. R.; 2000. Managing forests for wood yield and carbon storage: a theoretical study. *Tree Phy* 20 477-484.

UNFCCC- United Nations Framework Convention on Climate Change;1992.

UNFCCC- United Nations Framework Convention on Climate Change;2015.

VALSTA, L.; LIPPKE, B.; PEREZ-GARCIA, J.; PINGOUD, K.; POHJOLA, J.; SOLBERG, B.; 2008. Use of Forests and Wood Products to Mitigate Climate Change. En: BRAVO, F., LEMAY, V., JANDL, R., VON GADOW, K. (eds.): Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change. 137-150.Springer