



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-509

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Elaboración de un nuevo modelo selvícola de gestión en el monte Pinar Grande (Soria)

PASCUAL ARRANZ, A.¹

¹ Departamento de I+D+i. Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León.

Resumen

El objetivo es generar unos escenarios selvícolas que estén adaptados al contexto actual que y analizándolos para poder plantearlos al Servicio Territorial de Soria u otras personas /entidades que tengan interés en conocer otra forma de plantear la ordenación de sus masas forestales (particulares, empresas, asociaciones forestales, etc.).

En este estudio:

1. Se va a simular la ordenación de rodales con turnos de 80, 100 y 120 años, siguiendo regímenes selvícolas distintos, que permitan una simulación de las distintas alternativas que se podrían llevar a cabo en la gestión de estos pinares y que nos permitan analizar la rentabilidad y su posible incorporación a los planes de gestión comparando los resultados con lo que actualmente se hace en Pinar Grande.
2. Se comprueba la variación que experimenta la fijación del CO₂ en los árboles a lo largo del turno en los regímenes y cuantificar la cantidad de carbono que se extrae con las cortas y conocer que alternativas son las que mitigan más carbono (objetivo Kioto).
3. Una vez analizada este análisis, se procederá a una valoración económica y discutir su aplicación a la gestión.

Palabras clave

Innovación, Ordenación, Simulación Forestal, Gestión Forestal.

1. Introducción

La gestión forestal en España está empezando a incorporar nuevos objetivos para alcanzar en la ordenación de los montes, tales como la adaptación de los bosques al cambio climático. Desde hace varias décadas se ha investigado mucho acerca del actual y tan debatido proceso de cambio climático que estamos sufriendo en la actualidad y cuáles son los efectos actuales en los ecosistemas y los riesgos futuros si se cumplen previsiones. Ante el contexto de cambio climático, los gobiernos e instituciones pueden adoptar dos medidas, de mitigación y de adaptación.

Dentro de las políticas de actuación de las instituciones, la gestión de los ecosistemas a través de tres estrategias generales:

1. La conservación o mantenimiento de las cantidades de carbono existentes en la biomasa y suelos de los ecosistemas para evitar las emisiones a la atmósfera. Se incluye la conservación de los bosques naturales, las turberas y humedales.
2. La captura, secuestro o aumento de la cantidad de carbono retenido en los ecosistemas, retirándose CO₂ de la atmósfera. Entre las actuaciones destacan el incremento de la superficie forestal, la gestión selvícola, la protección de turberas y humedales, la recuperación de espacios degradados, etc.

3. La sustitución de los materiales y técnicas forestales de corta duración o con destino a la producción de energía, empleando otros productos menos consumidores de energía vegetal o fósil para reducir las emisiones de CO₂.

Una estrategia que se ha llevado a cabo es el continuo incremento de la superficie forestal en Europa, y de manera importante en España, desde 1970.

Actualmente se estima la superficie forestal (montes) nacional en 26.273 millones de ha. Este aumento de la superficie y por lo tanto de las existencias de madera, no se ha traducido en un aumento de la madera cortada y actualmente la cantidad de madera cortada anualmente no excede de un tercio de la posibilidad.

El potencial de los bosques para generar riqueza convierte a España en uno de los países de la zona euro con mayores facilidades para poner en producción, directa e indirecta, sus montes.

Las políticas de gestión, poco orientadas a la satisfacción de la demanda de madera por parte de la sociedad, son opuestas a lo que en los últimos años ha sido la balanza comercial de madera en España. La diferencia entre importaciones y exportaciones cada vez es más elevada, y el consumo anual de madera aumenta año a año. Por lo tanto, no se está poniendo en producción los montes tanto como se podría, y para subsanar esa falta de materia prima se recurre a las importaciones, hasta el punto de que la madera es el segundo producto con mayor peso en la balanza de importaciones por detrás del petróleo.

Además de la conservación y aumento del carbono fijado en la vegetación, es igual de importante apostar por la utilización de madera como material sustitutivo de otros materiales como el hormigón o el acero que consumen mucha energía en su elaboración. Según datos de la Unión Europea en el caso de los productos de madera, el impacto de la sustitución de materiales en la mitigación del cambio climático puede ser mayor que el producido por el propio secuestro de carbono (BROTO et al, 2007).

Tradicionalmente el objetivo ha sido tener árboles de grandes dimensiones a final de turno para poder obtener madera de sierra y chapa en la mayor proporción posible, ya que han sido los destinos con mejor precio en el mercado. Sin embargo la demanda del mercado cambia, y hoy en día la madera de grandes dimensiones está dejando paso a otro tipo de productos de menores dimensiones, más ligeros y que se construyen con madera de menores dimensiones y de menor calidad; los productos sustitutivos de madera.

Otro efecto beneficioso que se genera al conservar y aumentar la superficie forestal de España, es que aumenta la fijación de carbono en los ecosistemas forestales. La fijación neta Anual de fue de CO₂ fue de 94,062 millones de t (las emisiones anuales totales de España son 353,93 millones de t). Los bosques fijan anualmente más de un cuarto del total de emisión de España. Esto da idea de lo importante que es la conservación de nuestros bosques (RUIZ-PEINADO, 2011).

Desde el punto de vista de la gestión forestal, interesa estudiar cómo nuestros bosques están fijando carbono en la actualidad y diseñar una silvicultura adaptada a mejorar la fijación de CO₂, compatibilizándolo con los usos tradicionales del monte (BRAVO et al., 2006). A nivel de la gestión de los montes, es clave conocer cómo es la evolución de la fijación de CO₂ a lo largo del turno, especies más fijadoras, cuantificar la influencia de las claras en la fijación de CO₂, etc.

Para cuantificar este almacenamiento de carbono entre otras variables, la modelización forestal se presenta como imprescindible en el desarrollo de nuevas fórmulas de manejo de las masas forestales más acordes a la multifuncionalidad que se exige en este tiempo, incorporando objetivos que hasta ahora la gestión tradicional no contemplaba.

Con el uso de estas nuevas herramientas se puede cuantificar y valorar económicamente los productos que en sí, no tienen un mercado tradicional como es el caso del carbono. Es interesante saber la cantidad de carbono que son capaces de absorber los bosques y calcular cuánto CO₂ fijan cada año (MONTERO et al., 2005), para así poder cuantificar una cantidad fijada de carbono anual.

De cara a los bosques y su gestión, el pago por prestar servicios ambientales es un recurso que generaría un beneficio para los propietarios forestales y podría ayudar a aumentar la rentabilidad de los bosques.

Para el diseño y la aplicación de este modelo de gestión se ha elegido el monte nº 172, dentro del monte Pinar Grande que se sitúa en la Comarca de Pinares. Esta zona de pinares, de más de 120.000 ha, entre Burgos y Soria, está catalogada como Bosque Modelo desde el año 2006 por su gran tradición forestal, cultura y respeto por el monte. A continuación se detallarán los objetivos de este estudio y se evaluará su aplicación en el monte de Pinar Grande (Soria).

2. Objetivos

Se va a simular la ordenación de rodales con turnos a 80, 100 (turno actual) y 120 años, siguiendo siete regímenes selvícolas distintos, que permitan una simulación de las distintas alternativas que se podrían llevar a cabo en la gestión de estos pinares y que nos permitan analizar la rentabilidad de cada una de ellas y discutir su posible incorporación a los planes de gestión comparando los resultados con lo que actualmente hace el Servicio Territorial de Soria en Pinar Grande.

En cada uno de estas alternativas a su vez se comprobará que variación experimenta la fijación del CO₂ en los árboles a lo largo del turno en los regímenes y cuantificar la cantidad de carbono que se extrae con las cortas. A su vez, conociendo el destino de esta madera, podremos conocer que alternativas son las que mitigan más carbono en relación a uno de los objetivos claves de Kioto: la mitigación de CO₂ por parte de los productos forestales.

Una vez analizada este análisis, se procederá a valorar económicamente esta forma de ordenación de cara a aplicarla a la gestión o no.

El ámbito de aplicación es muy amplio y puede aplicarse a cualquier masa que cumpla con las condiciones que posteriormente se detallarán (la Comarca de Pinares abarca más de 200.000 ha, y se sigue un método tradicional que apenas ha evolucionado con el tiempo).

Una gestión más dinámica de los montes podría permitir la mejora de los bosques y del estado socioeconómico de la comarca. Para ello la aplicación en los planes de gestión de estos nuevos conceptos son claves si se quiere que los bosques respondan a las demandas de la sociedad en el momento actual.

3. Metodología

Se necesita de herramientas que nos den información para a partir de ahí editar el modelo silvícola, otras herramientas que permitan analizar los pros y contras de los cambios que se producirían en caso de aplicar el modelo, y además, las herramientas con las que generamos el propio modelo silvícola.

En primer término, se va a proceder a explicar cómo vamos a cuantificar las existencias de la zona de estudio, para después explicar cómo se va a generar el modelo selvícola. Posteriormente se va a proceder a explicar el procedimiento seguido en el tratamiento de la información y los datos aportados por el Servicio Territorial de Soria.

3.1. Ecuaciones de biomasa

Por el ámbito y la aplicación del estudio, se trabajará con las ecuaciones para pino silvestre.

- Biomasa del tronco ($W_s = 0,00154 \cdot d^2 \cdot h$)
- Biomasa de las ramas gruesas para diámetros menores de 37,5 cm ($W_{b7} = 0,540 \cdot (d - 37,5)^2 - 0,0119 \cdot (d - 37,5)^2 \cdot h$)
- Biomasa para ramas medias ($W_{b2-7} = 0,0295 \cdot d^{(2,742)} \cdot h^{(-0,889)}$)
- Biomasa para ramas finas y acículas ($W_{b2-7} = 0,0295 \cdot d^{(2,199)} \cdot h^{(1,153)}$)
- Biomasa del sistema radical ($W_r = 0,130 \cdot d^2$)

3.2. CubiFOR

CubiFOR, es una herramienta en formato complemento de Excel y programada en Microsoft VBA (*Visual Basic for Applications*) desarrollada para calcular el volumen total y maderable de las principales especies forestales de Castilla y León y para cuantificar el volumen y/o peso de los distintos productos de madera, biomasa y CO₂.

Para el cálculo de los productos de madera se basa en modelos del perfil del árbol. Integrando dicha función entre dos alturas cualesquiera, se obtiene el volumen del árbol entre esas dos alturas. Los distintos productos de madera se definen en base a las características morfológicas de las trozas, es decir a partir de su diámetro en punta delgada y en punta gruesa de su longitud.

3.3. SIMANFOR

SIMANFOR es un sistema de simulación de modelos forestales que permite la gestión de inventarios forestales, la proyección de la dinámica de sistemas forestales mediante la aplicación de modelos tanto empíricos como de procesos y el desarrollo y evaluación de regímenes de silvicultura diseñados por los usuarios.

El uso de SIMANFOR va a permitir conocer cómo van a ser en el futuro los rodales con los que se trabaje. El estudio va a centrarse en masas con más de un 90% de individuos de *Pinus sylvestris* L. ya que el modelo que tiene SIMANFOR, es válido para masas regulares de esta especie

3.4. Información de partida

La superficie de Pinar Grande está dividida en un total de 380 rodales. Por lo tanto, lo primero es clasificar los rodales por distribución de especie. 118 rodales de los 380 rodales cumplen el requisito de tener más de un 90% de los pies de pino silvestre, es decir, un 31,05% de los rodales que en superficie representan 25,88% de la superficie de Pinar Grande.

Las variables obtenidas y calculadas para cada rodal son altura dominante, diámetro medio cuadrático, número de pies, índice de competencia de Reineke, índice de espaciamiento de Hart-Becking, calidad de estación y edad. Para poder clasificar los rodales en cuanto a la necesidad de actuación se recurre a los índices de competencia (la densidad/competencia es una forma de medir los recursos disponibles para el crecimiento forestal) como el de Reineke ($IDR = N * (Dg/Do) ^ \beta_0$). Siendo Do un tamaño estándar de 25 cm que se utiliza, Dg el diámetro medio cuadrático del rodal y β_0 el exponente que varía entre -1,2 y -2,8. Para *Pinus sylvestris* L. en España este coeficiente es de -1,75 (BRAVO et al, 2011).

Las calidades de estación que hay en Pinar Grande son:

- Calidad I: $H_o > 20$ metros
- Calidad II: $18 < H_o < 20$ metros
- Calidad III: $15 < H_o < 18$ metros
- Calidad IV: $H_o < 15$ metros

En la muestra de 118 rodales, la distribución es la siguiente. Hay que tener en cuenta que estos datos corresponden a rodales puros de una única calidad, rodales de transición entre calidades donde podemos tener rodales de hasta 4 calidades distintas dentro de su superficie. A continuación se muestra como se distribuye cada calidad en los rodales de estudio.

Tabla 1. Distribución de las calidades de estación.

	Calidad IV	Calidad III	Calidad II	Calidad I
Rodales puros	1.089,88	83,43	78,55	437,82
Rodales mixtos	556,04	291,31	176,10	395,39
Total	1.645,92	374,74	254,65	833,21
Distribución (%)	52,90	12,10	8,20	26,80

El dato de la edad no puede ser exacto del todo, ya que en masas naturales con un periodo de regeneración de 20 años, es muy difícil estimar con una precisión exacta la edad del árbol. De la información proporcionada por el Servicio Territorial se sabe que en función del tramo en que esté el rodal, está en una clase de edad u otra.

Tabla 2. Aproximación a la edad de los rodales a partir de los datos del Servicio Territorial

Tramo	Clase de edad
I	60 - 80
II	40 - 60
III	20 - 40
IV	0 - 20
V	80 - 100

A la hora de poder clasificar los rodales en función de su SDI, los situamos en las ecuaciones de competencia para el máximo de la especie (1445 para *Pinus sylvestris* L.), un 65 y un 35% de este valor (RIO M, del. et al, 2006).

No existen rodales que superen el límite del autoclareo, y todos los rodales se encuentran comprendidos entre el 65% y la SDI máximo. Lo que resalta la competencia que existe en los rodales de Pinar Grande.

Por lo tanto se justifica la necesidad de someter a nuestras masas a tratamientos que nos permiten liberar competencia.

3.5. Propuesta selvícola para incorporar a la gestión

Este estudio se va a centrar en masas o rodales que sean homogéneos en calidad IV con una edad de 20-40 años, donde ya los tratamientos selvícolas tengan una buena salida comercial.

Tabla 3. Factores selvícolas en que se basa el modelo de gestión

Factores	Opciones	Descripción
Composición específica del rodal	1	Más del 90% de <i>Pinus sylvestris</i> L.
Calidad de estación	1	Calidad IV
Edad	1	20-40 (Media de 30)
Turno de la masa	3	80-100-120
SDI	1	Rodales > 65% SDI máximo
Plan de claras	7	Régimen Fuerte 20% (3) Régimen Fuerte 30% (3) Régimen Fuerte 20% (4) Régimen Suave 20% (2) Régimen Suave 30% (2) Régimen BAU-Servicio Régimen No Actuación
Itinerarios selvícolas posibles	21	

En total tenemos 21 combinaciones posibles. A la hora de realizar el trabajo, podemos agrupar varias alternativas dentro de la misma simulación ya que si simulamos hasta el año 120, obtenemos resultados antes en todos los nodos. Es decir, que en una misma simulación se obtienen los resultados para los tres turnos definidos.

Análisis de los factores del diseño experimental:

1. Composición específica del rodal

Rodales con más de un 90% de pies de *Pinus sylvestris* L

2. Calidad de estación

Calidad IV

3. Edad

Masas jóvenes de 20-40 años para poder elaborar un modelo que sea aplicable a lo largo de todo el turno a partir del momento donde se plantean las primeras claras en la gestión de masas regulares

4. Turno de la masa

Se plantean tres turnos: 100 años (turno actual) y dos modificaciones. Bien acortar el turno en busca de madera de menores dimensiones (80 años) o bien ampliar el turno buscando un almacenamiento mayor de carbono al tratarse de rodales no muy productivos (120 años).

5. SDI

Todos los rodales se encuentran entre el 65% y el 100% de SDI máximo para esta especie. Son unas cifras elevadas, que nos indican que son masas expuestas a un nivel de competencia elevado.

6. Plan de claras o actuaciones selvícolas

A continuación se definen los itinerarios selvícolas propuestos:

- Régimen Fuerte 20% (3)
Tres intervenciones selvícolas en los años 30, 50 y 70 del turno. En cada actuación se eliminan un 20% de los pies, las dos primeras actuando por lo bajo y la última por lo alto.
- Régimen Fuerte 30% (3)
Igual que el anterior, pero el peso de corta aumenta al 30%.
- Régimen Fuerte 20% (4)
Cuatro intervenciones en los años 40, 50, 60 y 70 del turno. En cada actuación se eliminan el 20% de los pies. Las dos primeras actuaciones por lo bajo y las dos siguientes por lo alto.
- Régimen Suave 20% (2)
Dos actuaciones selvícolas en los años 35 y 60 del turno. El peso de corta es del 20%, y se actúa por lo bajo y por lo alto respectivamente.
- Régimen Suave 30% (2)
Igual que el régimen anterior pero aumentando el peso de corta al 30%.
- Régimen BAU-Servicio
El plan de actuaciones selvícolas que plantea la Administración en Pinar Grande es un clareo fuerte antes de los 20 años, y a partir de este punto se realizan dos claras. La primera intervención en el año 40, aproximadamente, con un peso del 35% del área basimétrica eliminado por lo bajo. La segunda clara no siempre se produce, aunque actualmente sí que ya se están realizando de manera generalizada, y consta de una reducción del 30% del área basimétrica eliminado por lo bajo e incluyendo también codominantes.
- Régimen No Actuación

Sin actuaciones intermedias

Se seleccionaron cuatro rodales de la calidad IV para tener una buena base de información.

- Rodal 52. Sección II
- Rodal 39. Sección I
- Rodal 47. Sección V.
- Rodal 8. Sección III

Utilizando el modelo *IBERO PS* dentro de la plataforma SIMANFOR, vamos a crear el inventario silvícola correspondiente a cada uno de los rodales elegidos. A su vez también se va a diseñar el itinerario silvícola al cual va a estar sometidos nuestros rodales, es decir, planteamos los dos regímenes de claras desde los 30 años hasta el año 70 y simulamos hasta un turno de 120 años. Como SIMANFOR nos permite obtener resultados en los nodos intermedios podemos obtener resultados a su vez para el año 80 y 100.

4. Resultados y discusión

Después de plantear el diseño experimental y proceder a realizar los cálculos mencionados, se van a mostrar los resultados obtenidos para los cuatro rodales seleccionados.

4.1. Análisis económico

En primer lugar, se va a llevar a cabo un análisis de los ingresos obtenidos siguiendo cada uno de los regímenes planteados con posibilidad de realizar la corta final, para un turno de 80, 100 y 120 años. Este análisis se ha realizado para los 7 regímenes selvícolas actualizando todos los ingresos al año 30, edad inicial de los rodales.

Tabla 4. Balance económico para el Rodal 52 sección II

Régimen	Ingresos			Posición del régimen
	T80	T100	T120	
Régimen Fuerte 20% (3)	33.353,63	35.503,79	33.967,98	2
Régimen Suave 20% (2)	24.528,62	27.846,31	27.484,27	5
Régimen Fuerte 20% (4)	45.082,71	47.122,6	45.001,28	1
Régimen Fuerte 30% (3)	33.287,43	34.811,51	33.455,13	3
Régimen Suave 30% (2)	23.304,92	26.901,69	26.054,01	6
Régimen	Ingresos			Posición del régimen
	T80	T100	T120	
Régimen BAU-Servicio	18.811,89	33.336,21	30.651,98	4
Régimen No actuación	13.309,02	15.178,30	13.992,48	7

Tabla 5. Balance económico para el Rodal 39 sección I

Régimen	Ingresos			Posición del régimen
	T80	T100	T120	
Régimen Fuerte 20% (3)	29.631,56	33.414,94	35.922,22	2
Régimen Suave 20% (2)	23.364,31	24.459,81	26.230,36	6
Régimen Fuerte 20% (4)	42.740,09	44.571,72	47.169,55	1
Régimen Fuerte 30% (3)	30.533,99	34.327,53	35.445,55	3
Régimen Suave 30% (2)	23.048,46	25.682,73	26.419,01	5
Régimen BAU-Servicio	18.597,83	32.788,24	33.467,91	4
Régimen No actuación	12.250,41	12.835,10	12.265,89	7

Tabla 6. Balance económico para el Rodal 47 sección V

Régimen	Ingresos			Posición del régimen
	T80	T100	T120	
Régimen Fuerte 20% (3)	146.409,23	148.565,56	139.076,52	4
Régimen Suave 20% (2)	109.824,27	111.194,58	103.032,89	6
Régimen Fuerte 20% (4)	202.196,59	201.288,8	190.024,42	1
Régimen Fuerte 30% (3)	151.402,74	150.217,24	138.763,99	3
Régimen Suave 30% (2)	161.553,03	148.088,34	125.506,26	2
Régimen BAU-Servicio	81.852,27	132.938,16	120.694,62	5
Régimen No actuación	50.783,15	48.736,44	37.080,13	7

Tabla 7. Balance económico para el Rodal 8 sección III

Régimen	Ingresos			Posición del régimen
	T80	T100	T120	
Régimen Fuerte 20% (3)	71.371,44	71.878,64	70.359,39	3
Régimen Suave 20% (2)	51.801,17	55.454,77	53.200,71	5
Régimen Fuerte 20% (4)	96.166,71	98.016,12	94.254,73	1
Régimen Fuerte 30% (3)	71.421,66	73.733,18	70.723,86	2
Régimen Suave 30% (2)	52.266,37	55.230,49	53.711,46	6
Régimen BAU-Servicio	40.230,58	65.992,78	60.731,70	4
Régimen No actuación	25.126,28	24.092,53	20.017,27	7

4.2. Análisis de la distribución de productos

Aprovechando la información que proporciona SIMANFOR y el uso de CubiFOR como herramienta de cubicación, es posible realizar la grafica de distribución de los productos forestales a lo largo del turno, para un régimen determinado, etc.

Para cada régimen propuesto se va a ver como evoluciona cada producto forestal. A lo largo del turno se muestra la distribución (en % respecto al volumen maderable) de los productos forestales. Es interesante conocer cómo responde la masa a cada itinerario selvícola, poder optimizar la máxima cantidad de un producto, poder variar los años de actuación, analizar los efectos de no actuar un año o retrasar/adelantar la actuación, etc.

El mercado de la madera es muy particular y en poco tiempo el mercado puede inundarse de un producto (causas naturales como una gran tormenta por ejemplo) o bien necesitar cubrir una demanda puntual de un producto. Estudiar cómo dar respuesta a esta demanda es muy importante de cara a maximizar los recursos naturales de los que disponemos.

A continuación se muestra la distribución para cada uno de los regímenes para el rodal 52 (sección II), que servirá de ejemplo.

Los datos que se han utilizado han sido el dato medio del porcentaje de cada producto respecto del volumen maderable para los cuatro rodales simulados para cada uno de los siete regímenes propuestos con el fin de caracterizar la evolución de cada producto. En el eje de abscisas se sitúa el tiempo, desde el año de inicio de actuación, año 30, hasta el año 120. En el eje de ordenadas, los valores indican el porcentaje de cada producto respecto al volumen maderable que se obtiene en el rodal en cada momento.

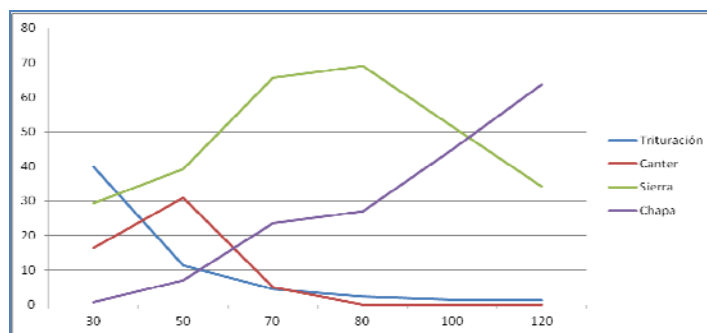


Figura 1. Distribución de productos (en %) para el Régimen Fuerte 20% (3).

4.3. Análisis del volumen de producto obtenido

A continuación, se muestran los resultados en términos absolutos para cada producto obtenido también para el rodal 52.

Tabla 8. Volumen de trituración en el rodal 52 obtenido en todas las alternativas propuestas

Régimen	Productos forestales (m ³)			Posición del régimen
	T80	T100	T120	
Régimen Fuerte 20% (3)	56,06	53,76	56,24	2
Régimen Fuerte 30% (3)	48,47	46,62	44,77	5
Régimen Fuerte 20% (4)	67,95	65,84	67,79	1
Régimen Suave 20% (2)	48,48	46,52	48,99	3
Régimen Suave 30% (2)	45,51	43,60	45,77	6
Régimen BAU-Servicio	48,89	39,55	35,49	4
Régimen No Actuación	12,03	11,19	10,90	7

Dentro del mismo régimen la cantidad de madera de trituración ($d < 7$ cm) apenas varía de un turno a otro. Entre los regímenes planteados destaca el Régimen Fuerte 20% (4) con una diferencia notable respecto a Régimen Fuerte 20% (3), un 20.82%. Estos dos regímenes son los más indicados para obtener un volumen mayor de producto de trituración.

Tabla 9. Volumen de cánter en el rodal 52 obtenido en todas las alternativas propuestas

Régimen	Productos forestales (m ³)			Posición del régimen
	T80	T100	T120	
Régimen Fuerte 20% (3)	76,97	76,97	76,97	2
Régimen Fuerte 30% (3)	70,15	70,15	70,15	3
Régimen Fuerte 20% (4)	128,18	128,18	128,18	1
Régimen Suave 20% (2)	61,92	61,92	61,92	4
Régimen Suave 30% (2)	46,46	46,46	46,46	6
Régimen BAU-Servicio	47,00	47,00	47,00	5
Régimen No Actuación	0,00	0,00	0,00	7

Este proceso se ha realizado también para los productos de sierra, sierra gruesa y madera de chapa

4.4. Cálculo de la mitigación

Conociendo la cantidad de producto que podemos obtener en cada itinerario, se puede calcular la cantidad de carbono, no biomasa, fijado en los productos que extraemos. Si se liga esa cantidad de producto con la vida útil que se le asocia a los productos en función del destino, se puede comprobar cuál de las alternativas generadas es más eficiente desde el punto de la fijación de carbono atmosférico.

A mayor cantidad de productos asociados a una larga vida útil, como los destinos chapa o sierra, mayor es el tiempo de permanencia de ese carbono retenido. A partir del volumen de cada producto forestal, multiplicando por su densidad básica, por 0,50 (contenido de carbono en la madera) y por 3,67 que es la relación molecular para obtener el peso de C, se obtiene los resultados.

Una vez conocidos estos productos, se precisa conocer la vida útil de cada destino.

Tabla 10. Clasificación de los productos por destino y vida útil asociada

Productos forestales procedentes de madera en rollo	Vida útil	Destino
Madera de chapa	35 años	Muebles y carpintería de calidad
Madera de sierra	20-35 años	Carpintería, mueble y uso estructural
Productos forestales procedentes de madera en rollo	Vida útil	Destino
Madera de cáncer	2-3 años	Pallet y embalaje
Postes	30 años	Tendidos telefónicos y eléctricos
Madera de apeas	30 años	Vallados, barandillas, frutales, mobiliario urbano
Madera de trituración	17-30 en función del destino	Mobiliario doméstico, construcción y carpintería
Biomasa	0, no se contabiliza	Uso energético e industrial

4.5. Análisis de la fijación de carbono

La fijación de CO₂ por parte de los bosques es, como ya se ha detallado en este trabajo, una nueva demanda que la sociedad demanda de los bosques y que tiene un altísimo valor, pero un precio nulo. Es por ello que desde la gestión forestal debemos hacer valer este recurso tan importante que aportan los bosques a la mitigación del cambio climático y que nos permitirá ganar tiempo en búsqueda de nuevas fuentes de energía menos contaminantes.

Cuantificar esta fijación es muy importante y de cara a la ordenación de las masas, es necesario aplicar nuevos métodos de gestión que ayuden a impulsar este recurso y maximicen su fijación combinándola con los aprovechamientos que tradicionalmente han tenido los bosques. A continuación, se va a analizar cómo evoluciona la fijación de este CO₂ en la biomasa de los rodales con los que se ha trabajado y observando las curvas podremos obtener conclusiones de cara a gestionar este recurso de gran valor.

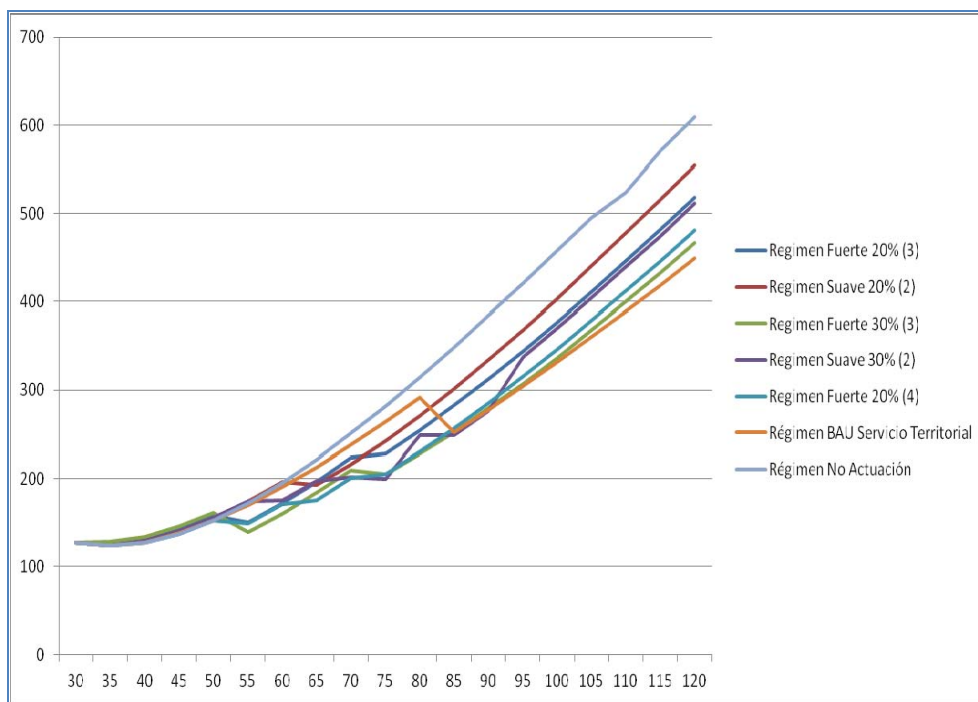


Figura 2. Evolución del carbono fijado en el rodal a lo largo del turno

5. Conclusiones

Después de analizar los resultados económicos, la principal conclusión que se extrae es que el mejor rendimiento de los rodales no se puede generalizar para un turno de 100 años, depende de la composición de cada rodal, de las características selvícolas, etc.

De los siete regímenes selvícolas, se observa una tendencia en todos ellos a alcanzar el máximo valor económico en el mismo turno, pero ese turno de mejor aprovechamiento varía en función del rodal. Por lo tanto, sería conveniente hacer un estudio individualizado, o bien agrupando los rodales, según características de densidad y parámetros como los usados para caracterizar los rodales de este estudio.

A nivel de resultados, el Régimen Fuerte 20% (4) es el que mejor rendimiento obtiene en todos los rodales, con una diferencia importante con el resto de alternativas. También se observa el buen rendimiento de las alternativas con régimen fuerte, tanto para el 20% como para el 30%. Estas tres opciones ofrecen resultados superiores al Régimen BAU-Servicio, lo que el servicio plantea en la actualidad.

Se observa cómo a medida que aumentamos el número de intervenciones en los rodales y en ocasiones el peso de corta, la rentabilidad mejora.

A nivel de productos, el resultado es muy parecido. Se obtiene más cantidad de producto en el Régimen Fuerte 20% (4) para todos los destinos, salvo para madera de sierra fina. Es decir, aun aumentando el número de intervenciones, se consigue más producto de grandes dimensiones y de dimensiones menos exigentes que en el resto de opciones.

La distribución de productos en cada régimen selvícola sigue una distribución similar, pero los óptimos de producción para cada régimen se alcanzan en edades diferentes. No se

puede clasificar los resultados por mejor o peor, pero sí que da mucha información a la hora de la toma de decisiones una vez elegido un régimen u otro y poder hacer maximizar la curva, analizar una adelanto/atraso en la corta, etc.

Por otra parte, la fijación de CO₂ en la biomasa que existe en el rodal durante el turno se aumenta en los regímenes con bajo peso de corta y su vez, con menor número de actuaciones selvícolas. Es por ello, que si se analiza el Régimen BAU-Servicio la cantidad fijada es la menor de las siete estudiadas, por el gran lapso de tiempo entre las actuaciones selvícolas y el peso elevado de corta en relación a los mejores resultados. Es decir, Régimen Fuerte 20% (4) y todas las demás opciones fijan más carbono al final del turno.

Dentro de cada régimen, la cantidad de CO₂ que se almacena, como era de esperar, corresponde a los turnos de 120 años. Si el turno económicamente óptimo con el turno de fijación óptimo coincide se maximizarían todos los objetivos del estudio, caso que sucede con el Rodal 39 sección I.

Una vez planteados los balances para cada uno de los análisis realizados, la mejor propuesta para mejorar la rentabilidad de los montes, son regímenes selvícolas con 3-4 actuaciones selvícolas, claras, con un peso de corta del 20%, que es lo que se ha planteado.

Régimen Fuerte 20% (4) ha sido la mejor alternativa en los cuatro rodales, sin embargo, sería conveniente hacer un estudio individualizado de todos y cada uno de los rodales, en busca de un mejor análisis de los mismos, y a fin de ser más precisos en los cálculos.

Los resultados muestran que aumentando el número de intervenciones, mejora la rentabilidad de los rodales, sin embargo la elección del turno óptimo depende las condiciones iniciales del rodal. Es por este motivo por el que considero que un análisis individualizado de cada uno de los rodales es esencial para poder hacer un mejor aprovechamiento de los bosques.

Por lo tanto, considero que la implantación de los mejores regímenes selvícolas satisface los objetivos que se buscan con la gestión de los montes hoy en día: dinamizar el monte, generar empleo rural, aumentar la rentabilidad de los mismos compatibilizando el aprovechamiento tradicional con nuevos valores que la sociedad demanda.

6. Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a Felipe Bravo y Ángel Cristóbal Ordoñez, tutor del estudio y cotutor del estudio respectivamente, su apoyo y ayuda durante el proceso de realización de este trabajo correspondiente al Trabajo Fin de Máster de Ingeniería de Montes (2010-2012).

A su vez también me gustaría agradecer al Servicio Territorial de Soria y en especial a Jose Antonio Lucas Santa y María Jesús García, las facilidades que me han dado para la obtención de datos e información acerca de la política actual de gestión del organismo.

Por último, me gustaría agradecer a Cesefor (Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León), y en especial al área de I+D+i liderada por Miguel Broto, su apoyo y facilidad de trabajo para compatibilizar la realización

de este trabajo con la tarea que a su vez estaba realizando para esta área. En sentido, mi agradecimiento a Francisco Rodríguez, tutor de empresa, por su apoyo durante estos meses.

7. Bibliografía

BRAVO, F., A. BRAVO□OVIEDO, A., LIZARRALDE, I., ORDOÑEZ, A.C. 2010. IBEROPS: Modelo de dinámica de rodales de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central y el Sistema Ibérico en Castilla y León.

BRAVO, F., ORDOÑEZ, A.C. RODRIGUEZ, F. 2010. SimanFor: Sistema de apoyo para la simulación de alternativas de manejo forestal sostenible. Disponible en www.simanfor.es (último acceso el 15 de Mayo de 2012).

BRAVO, F., MONTERO, G. 2011. Site index estimation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the High Ebro Basin (northern Spain) using soil attributes. CIFOR-INIA-Universidad de Valladolid. Departamento de Producción Vegetal.

BROTO, M., LIZARRALDE, I., RODRIGUEZ, F. 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Capítulo 8: Ciclo de vida de los productos forestales-Impacto sobre la fijación de CO₂. Fundación Gas Natural.

BROTO, M., RODRIGUEZ, F. Ecuaciones de volumen comercial para las principales especies maderables de Castilla y León. CUBIFOR. Disponible en www.cesefor.com/cubifor/index.asp (Consultado el 13/03/2012).

LOPEZ, E., MONTERO, G., RIO M. del. 2006. Manual de gestión para masas procedentes de repoblación de *Pinus pinaster* Ait., *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arn. en Castilla y León. Junta de Castilla Y LEÓN. Conserjería de Medio Ambiente.

MONTERO, G., R., MUÑOZ, M., RUIZ-PEINADO. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA. Madrid.

MONTERO, G., MUÑOZ, M., RUIZ-PEINADO, R. 2006. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

MONTERO, G., RIO M. del., RUIZ-PEINADO, R. 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species

OFICINA ESPAÑOLA DE CAMBIO CLIMÁTICO. 2006. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

PLATAFORMA SOBRE FINANCIAMIENTO DE CARBONO PARA AMÉRICA LATINA. 2012. Disponible en www.finanzascarbono.org (Consultado el 12/09/2011).

RUIZ-PEINADO, R. 2011. Los bosques y su efecto sumidero de carbono. Ponencia en Situación actual de los bosques retos y oportunidades. UIMP (Universidad Internacional Menéndez Pelayo). Santander.