Capítulo 4
Impacto de la gestión forestal sobre el efecto sumidero de los sistemas forestales

Felipe Bravo, Carlos del Peso, Andrés Bravo-Oviedo, Luis Fernando Osorio, Juan F. Gallardo, Agustín Merino y Gregorio Montero.

4.1. Introducción

La selvicultura es la ciencia que estudia la intervención razonada del hombre en el bosque y cuya finalidad es aprovechar el uso múltiple de las masas forestales garantizando, en todo momento, la persistencia del arbolado (Caja 4.1). Por otro lado, la selvicultura conlleva la planificación forestal durante un plazo variable para alcanzar los objetivos fijados por la propiedad forestal, satisfaciendo a la vez los intereses de la sociedad, siendo el contenido de la ordenación forestal.

La selvicultura y la ordenación forestal se desarrollaron como ciencias en Europa durante el siglo XVIII para cubrir la necesidad de suministrar madera para el combustible y la construcción de una forma regular y persistente en el tiempo. Así, dentro de este esquema de gestión, se considera que el bosque tiene capacidad para la producción continuada de beneficios de forma regular, en el espacio y en el tiempo, cumpliendo dos funciones claramente económicas: (1) Función de ahorro con el acumulo de crecimientos; y (2) Función de producción mediante aprovechamiento y comercialización de los productos.

Asimismo, en el monte se da una peculiaridad de producción única, ya que coincide el producto extraíble con la «fábrica». El capital queda representado en el arbolado, que acumula el crecimiento y tiene capacidad de regeneración. El capital que representa el suelo, siendo la extensión sobre la que se desarrolla el arbolado y contribuye a mantener la capacidad de regeneración y producción del arbolado. Tradicionalmente se ha comparado el crecimiento de las masas forestales con el interés (en sentido económico) que proporciona el arbolado y que, una vez están acumulados (sobre el arbolado), se puede realizar un aprovechamiento de la masa forestal (en bienes directos, principalmente madera). Si no se abusa del capital (la masa forestal), la capacidad productiva es infinita al tratarse de un recurso natural renovable. Por ello, tanto la selvicultura como la ordenación forestal, permiten el rendimiento sostenible del bosque.

La longevidad de los árboles es un dato importante que influye directamente en la toma de decisiones. El periodo de vida natural varía según las especies. Mientras que un álamo rara vez pasa de los 50 años, una encina puede llegar a los 500 y un tejo suele sobrepasar los 1000 años de vida. La longevidad de las especies forestales y los intereses del hombre determinan en qué momento se produce la corta del arbolado para obtener un determinado beneficio, que puede ser de tipo monetario o no.

La corta del arbolado representa, dentro de la técnica selvícola, el momento de obtener una gran parte de los bienes tangibles que produce el bosque, pero también el momento en que se inicia la regeneración del mismo. El lapso de tiempo que va desde el nacimiento del árbol hasta su corta se conoce como «turno» y, como ya se comentó antes, puede coincidir con distintos intereses de tipo económico, tecnológico, de conservación y de protección. De entre todos los criterios (Tabla 4.1.) utilizados para determinar cuál es el momento óptimo para realizar las cortas para conseguir la regeneración del bosque, el más utilizado en los bosques templados es el de máxima renta en especie, que coincide con la edad a la que el crecimiento medio de los árboles es máximo.

Tabla 4.1. Criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corta de los bosques

Criterios biológicos

- Criterio físico: Los árboles se cortan cuando pierden prácticamente su vitalidad.
- Criterio selvícola: La edad de corta debe permitir el desarrollo vigoroso de la masa forestal y mantener condiciones satisfactorias para su regeneración.

Criterios económico-financieros

- Criterio dinerario: Los árboles se cortan en el momento en que se hacen máximos los ingresos en dinero (sin actualizar).
- Criterios financieros: El momento de corta se define a través de un análisis de costes y beneficios, actualizados, de la selvicultura aplicada.

Criterios técnico-forestales

- Criterio de máxima renta en especie: El momento de corta coincide con la edad que hace máxima la producción maderable durante infinitos ciclos.
- Criterio tecnológico: Los árboles se cortan cuando alcanzan la edad adecuada para obtener productos ajustados a las necesidades de la industria

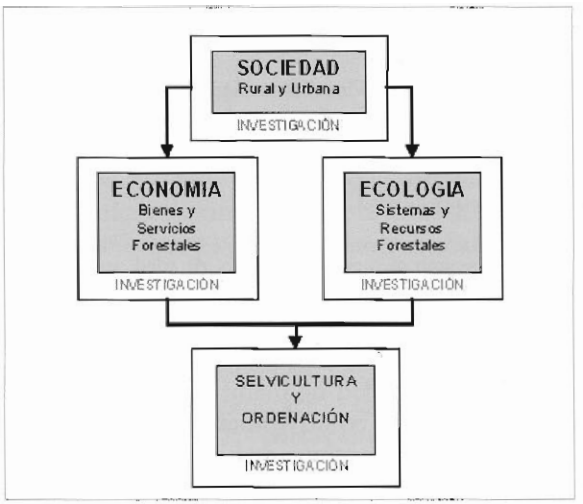
Criterios ecológicos

- Los árboles se cortan cuando se ha alcanzado un cierto nivel en la sucesión ecológica que permite, a escala de paisaje, que estén representadas todas las fases de la misma.
- El arbolado se corta cuando se ha recuperado un cierto nivel de nutrientes desde la corta anterior.

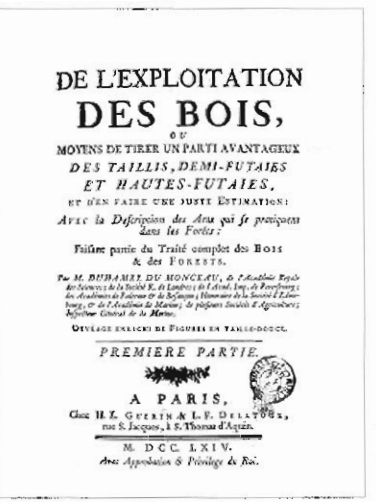
Los árboles que componen una masa forestal se encuentran distribuidos y estratificados de acuerdo con sus aptitudes genéticas, con las condiciones ecológicas de la estación y con el tratamiento selvícola aplicado a su renovación y desarrollo. Las distintas estrategias de regeneración natural de las masas forestales permiten clasificar los bosques en diferentes tipos en función de si se han originado por reproducción sexual, asexual o mixta o si conviven árboles de varias edades dispares o de edades parejas (Tabla 4.2.) La igualdad

Caja 4.1. Integración social, económica y ecológica de la Selvicultura y la ciencia forestal

El origen de la selvicultura como técnica, más que como ciencia, hay que buscarlo antes de la Revolución francesa en el «Traité complet des bois et des forêts» de Duhamel (1764). La selvicultura como ciencia moderna nace «de la necesidad», palabras de H. Cotta que de esta manera bautizó a la selvicultura en 1816. La selvicultura tal y como la entendemos hoy en día presenta tres aspectos básicos en su aplicación: social, económico y ecológico. La necesidad de la que hablaba Cotta es la de las sociedades que demandan bienes (sobre todo la rural) y servicios (sobre todo la urbana), en este aspecto la investigación sociológica sobre las preferencias de cada una es fundamental a la hora de definir políticas forestales. En la demanda de bienes y servicios está implícita la demanda económica ya que son las sociedades las que pagan para obtener un beneficio tangible (madera, pastos o frutos) y otros intangibles (regulación de los ciclos hidrológicos, oxígeno o fijación de carbono), que están estrechamente relacionados con la demanda ecológica (biodiversidad, mantenimiento y conservación de estructuras). En ambos casos, la investigación de los mercados y la valoración de productos, así como el desarrollo de la investigación sobre el funcionamiento de los sistemas ecológicos, por ejemplo en relación al ciclo del carbono, es el pilar básico sobre el que se apoya la selvicultura y la ordenación de montes, que busca maximizar el beneficio económico y ecológico que redundaría en el bienestar de la sociedad. Dicha maximización se alcanza mediante la praxis y el desarrollo de tratamientos y métodos comprobados y avalados mediante la investigación científico-técnica.



Los pilares de la selvicultura


DE L'EXPLOITATION
DES BOIS,
OU
MOYENS DE TIRER UN PARTI AVANTAGEUX
DES TAILLIS, DEMI-FUTAIES
ET HAUTES-FUTAIES,
ET D'EN FAIRE UNE JUSTE ESTIMATION:
Avec la Description des Arts qui se pratiquent
dans les Forêts:
Faisant partie du Traité complet des Bois
& des Forêts.
PREMIERE PARTIE.
A PARIS,
M. DCC. LXIV.
Avec Approbation & Privilège du Roi.

Primer tratado de selvicultura

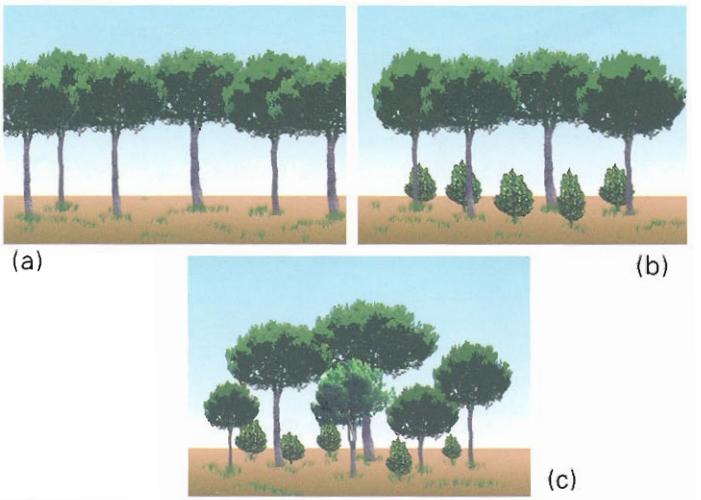
de época de regeneración de las masas regulares (y coetáneas) da lugar a que las diferencias entre los árboles se deban a condicionantes de estación y de la aptitud genética de cada individuo. Habitualmente las diferencias de edad se transforman en diferencias de tamaños, en altura (en función de la calidad de la estación, es decir la productividad potencial de un sitio) y en diámetro (en función de la densidad de la masa). Por otro lado, la estructura de las masas irregulares está determinada por el equilibrio entre los árboles adultos que ocupan un gran espacio y los árboles jóvenes que ocupan un espacio menor. La disminución desde un gran número de árboles jóvenes hasta un pequeño número de árboles adultos se produce tanto por mortalidad natural como por la corta selvícola. La forma de regeneración y la estructura de la masa resultante son características básicas para determinar el tipo de tratamiento que se puede plantear en una masa forestal (Fig. 4.1). No obstante, antes de decidir qué tipo de cortas de regeneración son necesarias se deben fijar los objetivos de la gestión de la masa forestal. Tradicionalmente, en el mundo mediterráneo se han aprovechado los tratamientos de monte bajo con cortas a matarrasa para el aprovechamiento de leñas, centrado principalmente en quercíneas (encina, quejigo, rebollo...) o dimensiones pequeñas (castaño) con una capacidad elevada de rebrote tanto de raíz como de cepa.

Tabla 4.2. Clasificación de los bosques en función de su forma de reproducción y de las edades de los árboles que los componen

Según su forma de reproducción	Según las edades de los árboles
Monte alto: todo el arbolado proviene de regeneración por semilla.	*Masa coetánea*: al menos el 90% de los árboles de la masa tienen la misma edad.
Monte bajo: todo el arbolado procedente de rebrote de cepa o raíz.	*Masa regular*: al menos el 90% de los árboles de la masa pertenecen a la misma clase artificial de edad (lapso de tiempo directamente relacionado con la consecución de la regeneración).
Monte medio: coexiste arbolado que proviene de semilla con otros que proceden de brotes	*Masa semirregular*: aquella masa en la que conviven árboles cuya diferencia de edad es como máximo de dos clases artificiales de edad.
	Masa irregular: aquella masa en la que conviven árboles que representan al menos dos clases de edad no consecutivas (irregular pie a pie e irregular por bosquetes).

El conocimiento de las especies forestales y la necesidad de planificar la gestión de los bosques dentro de un marco de sostenibilidad han dado como resultado el establecimiento de una serie de estrategias destinadas a la producción continua de bienes (principalmente bienes directos y, dentro de éstos, con un papel relevante, la madera) y servicios. A grandes rasgos se pueden definir dos tipos de selvicultura: (1) la **selvicultura intensiva**, más relacionada con el cultivo forestal y cercana a las prácticas agronómicas, en este grupo se

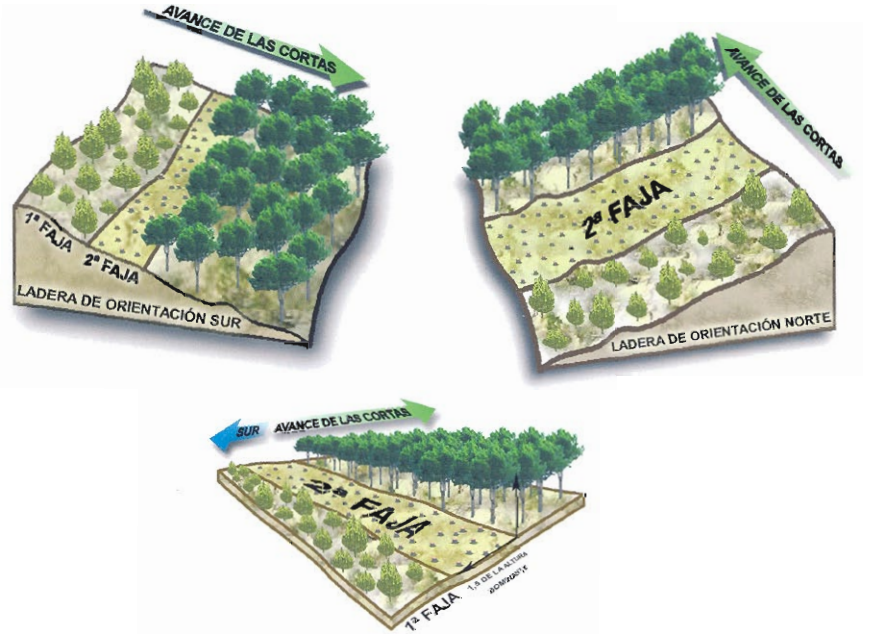
Figura 4.1. Diferentes formas de masa forestal en función de su estructura de edades



(a) masa regular, (b) masa semirregular y (c) masa irregular. En la tabla 4.2 se explican de forma detallada estas formas de masa.

incluye el manejo que se hace de las especies de crecimiento rápido, principalmente sobre zonas muy productivas, turnos cortos, regeneración artificial generalmente con especies foráneas y/o selvicultura clonal, cuya principal producción es la madera. En este caso, los beneficios indirectos de las masas forestales (principalmente las funciones protectoras y ecológicas) quedan claramente supeditados al objetivo productivo principal, y (2) la **selvicultura extensiva**, por el contrario este tipo de selvicultura sería la aplicada en bosques menos productivos o en los que las condiciones de aprovechamiento de los productos son más difíciles y no justifican la inversión de recursos económicos. También se aplica en bosques donde el objetivo fundamental es la conservación o la protección. Se utiliza fundamentalmente la regeneración natural de la masa forestal (aunque existen repoblaciones forestales de carácter protector o conservador), con turnos más largos y haciendo especial hincapié en el uso múltiple del bosque. La corta de los árboles es, dentro de la selvicultura, a la vez una forma de obtención de productos y una herramienta para modular los procesos de competencia y regeneración en los bosques. No sólo debe considerarse el momento óptimo para realizar las cortas sino también su disposición sobre el terreno (Figura 4.2).

Figura 4.2. Distribución sobre el terreno de las cortas de regeneración por fajas



La orientación de las fajas está pensada para favorecer la regeneración de los árboles y proteger a la nueva generación de situaciones adversas como heladas o vientos desecantes. En caso de que se trate de zonas con problemas erosivos no se deben realizar fajas en el sentido de la máxima pendiente de la ladera.

El uso múltiple de la masa arbolada está asegurado a través de la ordenación de montes o dasocracia, que incluye la planificación de las actividades que se desarrollan en los montes de modo que se asegure el continuo disfrute de sus productos y servicios y la perpetuación del ecosistema, ecosistemas que lo integran. La planificación de la toma de decisiones que afectan directamente a las masas forestales se recoge en el documento conocido como proyecto de ordenación, plan dasocrático o plan técnico de gestión (Caja 4.2) y que en España tienen una tradición de más de un siglo. El método utilizado para organizar la selvicultura y distribuir los diferentes tipos de bosque dependerá del tipo de masa y de la gestión propuesta (regeneración natural o artificial, monte alto o monte bajo, etc.) y dará lugar, en cualquier caso a un cierto equilibrio de edades que aseguren la persistencia de la masa y el máximo de rentas económicas y utilidades (Figuras 4.3 a 4.5). En los últimos años el fomento de la gestión forestal sostenible ha favorecido el desarrollo de la certificación forestal, que promovida por distintos colectivos, buscan facilitar al consumidor último el reconocimiento de esta gestión forestal dentro de unos cánones de sostenibilidad previamente establecidos.

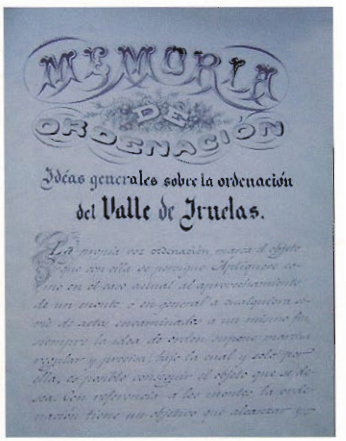
Caja 4.2. La ordenación de montes en España

A finales del siglo XIX, y acompañando al desarrollo de la profesión forestal, surge en España el interés por la ordenación de montes, copiando modelos ya desarrollados en Europa, principalmente en Francia y Alemania. En aquellos inicios, se extendió el método de ordenación en dotaciones periódicas buscando equilibrar las distintas clases de edades, asegurando la persistencia de la masa.

Las dificultades en la aplicación de métodos tan rígidos como los tramos permanentes, concretadas principalmente en problemas de regeneración, dificultades en el acotamiento al pastoreo, incendios y falta de recursos humanos, ha hecho que actualmente se trabaje en métodos más flexibles, principalmente el tramo único y el tramo móvil.

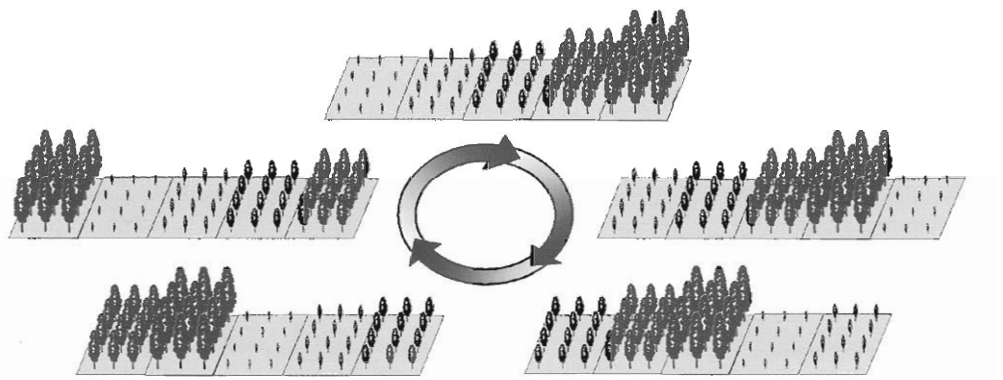
La necesidad de ajustar la gestión forestal tradicional a los nuevos objetivos de la sociedad: uso múltiple, fijación de carbono, biodiversidad, hábitat de especies protegidas, uso recreativo, paisaje, etc. hace necesario que se recurra a nuevas herramientas de optimización de la información recogida. Las últimas tendencias de gestión forestal sostenible abogan por la inclusión de la programación lineal integrada en sistemas de información geográfica y apoyada en la modelización de la dinámica de rodales forestales a una escala mayor que el monte.

La ordenación de montes cambió la fisonomía de territorios enteros. En la foto aérea, pinares de *Pinus pinaster* en los alrededores de la villa segoviana de Coca. Tradicionalmente ordenados por dotaciones periódicas en la modalidad de tranzones resineros, los pinares de pino negral eran resinados durante 25 o 30 años siendo la principal riqueza forestal de la comarca.



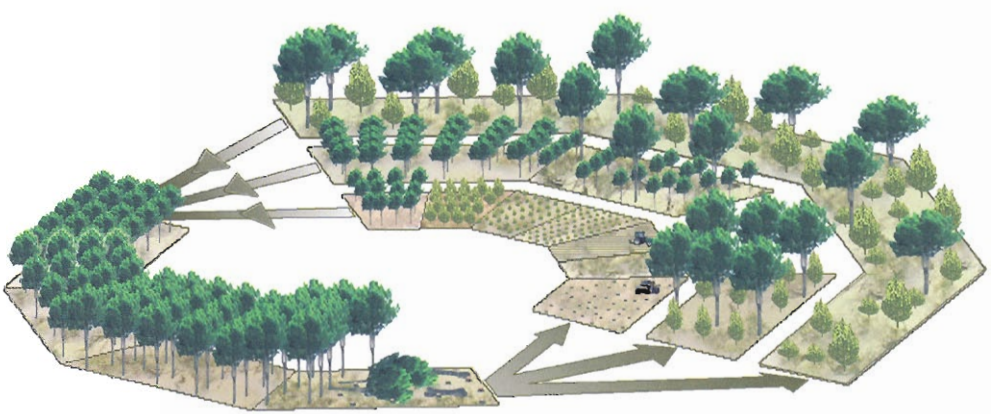
En el año 1885 se redacta el proyecto de ordenación del Valle de Iruelas (Ávila) por el ingeniero de montes D. Carlos Castell. En el documento se define ordenación de la siguiente manera: «aplíquese al aprovechamiento de un monte o en general a cualquier serie de actos encaminados a un mismo fin. Siempre la idea de orden supone marcha regular y precisa, bajo la cual y sólo por ella, es posible conseguir el objeto que se desea».

Figura 4.3. La división por cabida se define



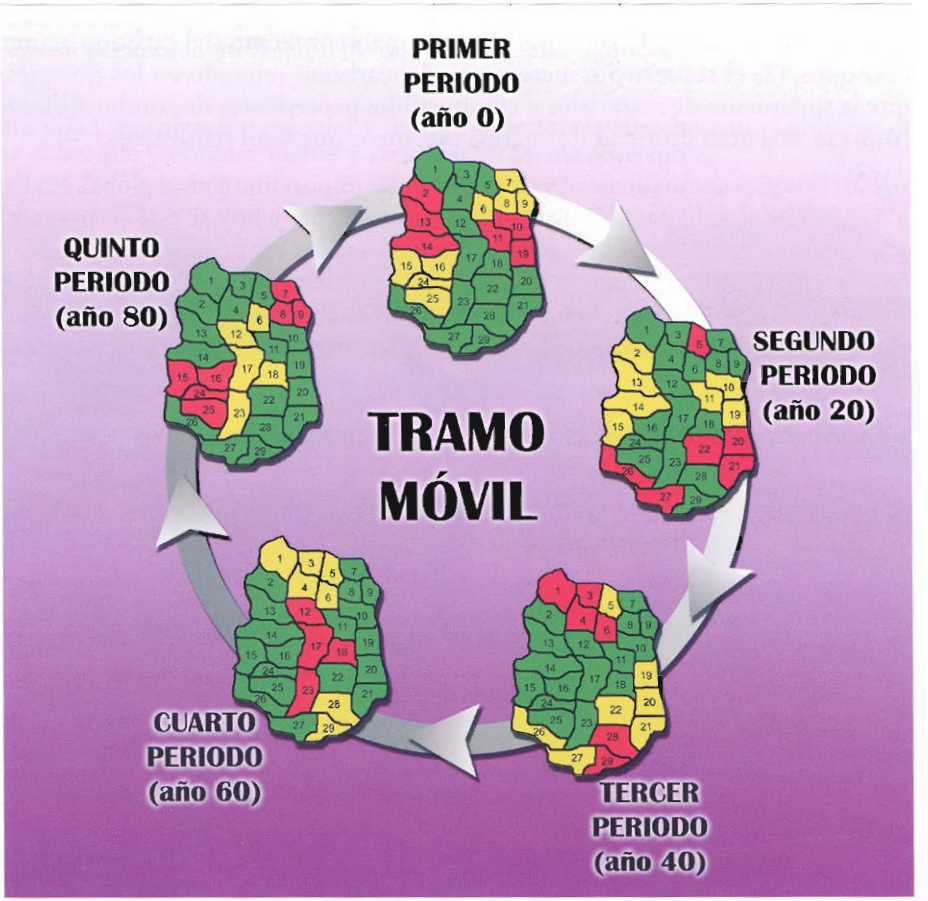
Como aquel método de ordenación que señala un área de corta anual o periódica en la que se van a realizar cortas continuas (a hecho o matarrasa) con regeneración inmediata (bien artificial o natural). Su aplicación en España se ha centrado principalmente en la producción de leñas sobre quercíneas con rebrote de cepa o raíz y en menor medida en especies como el castaño y otras especies productoras de madera en selvicultura intensiva, como es el caso de las choperas clonales de Populus x euramericana, *el eucalipto o el pino radiata. En la figura se asume que la capacidad productiva de la masa forestal es homogénea, por lo que la división en áreas equiproductivas se simplifica por la división en áreas iguales.*

Figura 4.4. La ordenación por dotaciones periódicas



Este método de ordenación adopta como preceptiva la igualdad de los periodos de regeneración que se corresponden con la igualdad de áreas ocupadas por las distintas clases de edad en el vuelo futuro. Las cortas de regeneración pueden ser tanto el aclareo sucesivo uniforme (en alguna de sus modalidades) como las cortas a hecho (con periodo de regeneración, en uno o dos tiempos).

Figura 4.5. Las nuevas demandas de la sociedad en gestión forestal. Método del tramo móvil



Las nuevas demandas de la sociedad en gestión forestal exigen la inclusión de nuevos objetivos en la planificación: fijación de carbono, biodiversidad, refugio de fauna, protección del suelo, uso recreativo, paisaje, etc. Por ello se hace necesario el uso de nuevas técnicas implementadas en el conocimiento histórico de la ordenación de montes clásica. La programación matemática, la modelización forestal y los sistemas de información geográfica se presentan como imprescindibles en el desarrollo de nuevas fórmulas de manejo de las masas forestales más acordes a la multifuncionalidad que se exige en este tercer milenio.

En las unidades de gestión silvícola en color verde (grupo de mejora) se realizan claras y clareos para mejorar la situación del bosque

En las unidades de gestión silvícola en color rojo (grupo preparación) se realizan intervenciones para crear condiciones adecuadas para la regeneración del monte

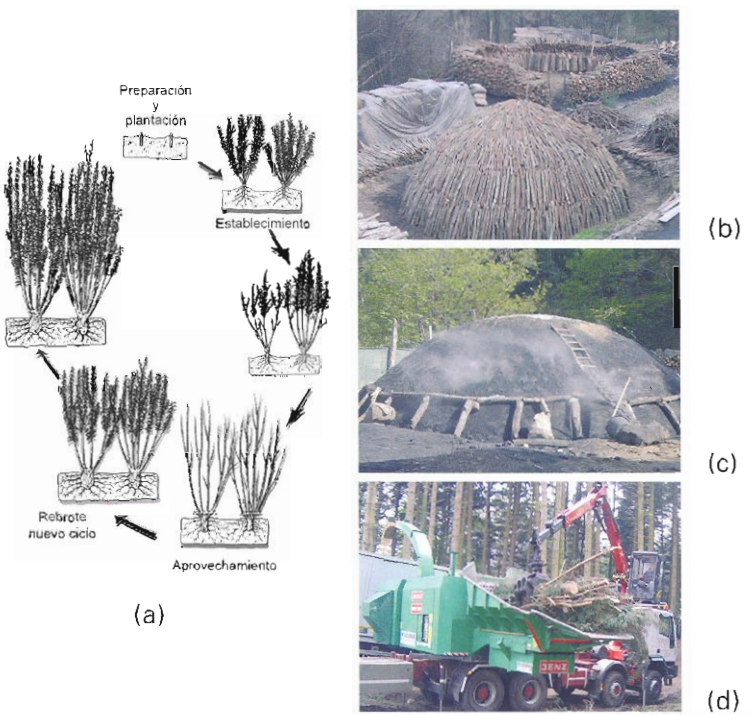
En las unidades de gestión silvícola en color amarillo (tramo móvil) se realizan intervenciones para favorecer la regeneración del monte

4.2. Estrategias de mitigación

La gestión forestal puede colaborar en la mitigación del cambio climático mediante tres estrategias fundamentales: (1) la conservación o mantenimiento del carbono acumulado en los bosques, (2) el secuestro o incremento del carbono retenido en los bosques y (3) mediante la sustitución de materiales y combustibles procedentes de combustibles fósiles o que utilizan una gran cantidad de energía por otros que sean renovables.

El uso de los bosques como fuente de energía es el más importante a nivel global. En España, hasta los años 60 del siglo pasado fue el uso más importante y hoy se está recuperando, ya que permite sustituir combustibles fósiles por leña que es un producto renovable (Caja 4.3). Así, la selvicultura intensiva a turno corto con densidades elevadas permite altas producciones de biomasa (fig. 4. 6). Los géneros *Salix* y *Populus* están especialmente indicados para este tipo de cultivos forestales. El aprovechamiento de los montes bajos

Figura 4.6. Aprovechamiento de biomasa en ecosistemas forestales

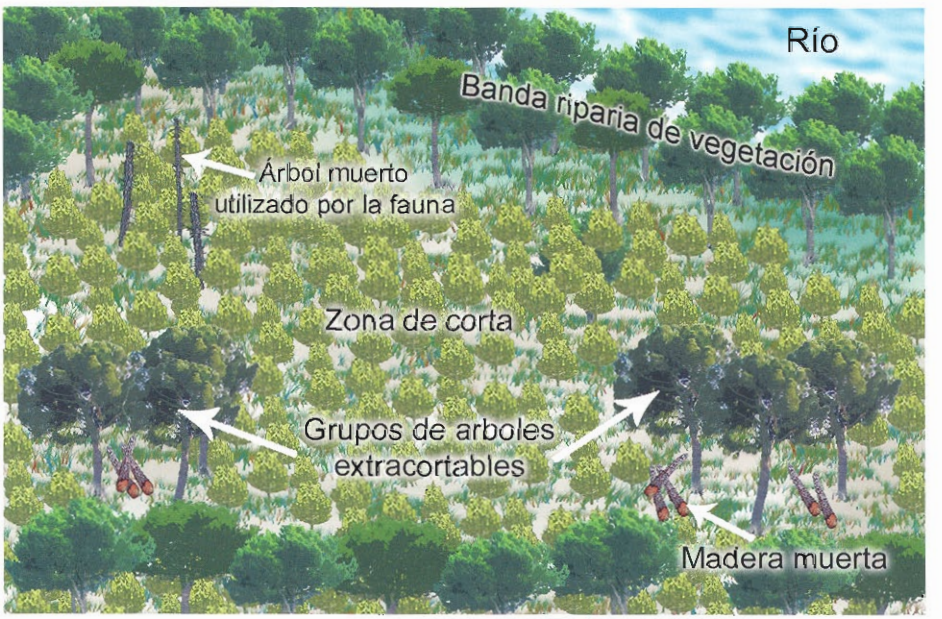


a) Selvicultura intensiva a turno corto, b y c) carboneo de leñas procedentes del aprovechamiento de montes bajos para la obtención de combustible en los montes calabreses de Serre San Bruno en el sur de Italia, d) maquinaria adaptada para el aprovechamiento forestal de la biomasa (Fotografías: b: F. Bravo, c y d: C. del Peso).

para la obtención de combustibles ha sido tradicional en toda la cuenca mediterránea y hasta la irrupción del gas butano uno de sus usos fundamentales (Fig. 4.6.). En la actualidad, el desarrollo de tecnologías y maquinaria adaptadas para el aprovechamiento forestal de la biomasa permite la utilización de un recurso hasta ahora poco valorado (Fig. 4.6)

Figura 4.7. Organización espacial y temporal de cortas a hecho con el objetivo de regenerar el bosque y obtener bienes y servicios de forma sostenible

Figura 4.8. Los tratamientos selvícolas se pueden aplicar de manera fléxible para así favorecer la dinámica forestal obteniendo recursos de forma sostenible



Corta a hecho en la que se ha respetado una banda de árboles próximos a un río y en la que no se han cortado todos los árboles vivos y se han dejado árboles muertos y troncos en el suelo, todo ello para fomentar la biodiversidad dentro del bosque. ***Fuente:*** *adaptado de Logan, 2002.*

En la actualidad se están desarrollando nuevas técnicas selvícolas, adaptaciones de las tradicionales (Fig.4.7) que tendrán un impacto relevante sobre la capacidad de los bosques para conservar y retener dióxido de carbono. Entre estas nuevas técnicas está la retención, tras la corta de regeneración, de árboles vivos y muertos (Fig.4.8) El objetivo principal de estas estrategias de gestión es la conservación de la biodiversidad, pero sus implicaciones sobre el riesgo de incendios forestales, la descomposición de materia muerta en el bosque y la conservación de la materia orgánica del suelo, tendrán un impacto grande sobre el papel de los bosques como sumideros de carbono.

Caja 4.2. (a) La biomasa forestal como instrumento para mitigar el cambio climático

La utilización de la biomasa forestal recoge el testigo del aprovechamiento tradicional de los montes bajos, aprovechando la capacidad de rebrote de ciertas especies forestales. Las crisis energéticas de los años 70 y 90, el aumento del consumo y la dependencia del petróleo han influido directamente en el interés creciente por este recurso natural renovable como fuente de energía sostenible.

Dentro del amplio concepto de biomasa vegetal (cantidad de materia viva producida por las plantas) se suele utilizar este término para hacer referencia al combustible energético que se obtiene directamente de estos recursos biológicos.

Desde entonces una serie de factores han motivado la apuesta definitiva por el desarrollo de la biomasa proveniente de cultivos. Dentro de las distintas causas podemos remarcar las siguientes:

- La política agraria comunitaria, con un claro fomento de la reducción de la producción de alimentos con el abandono de grandes superficies de cultivo en zonas marginales principalmente.
- Las sucesivas y periódicas crisis energéticas y la dependencia absoluta del petróleo con un interés cada vez mayor de producir energía autóctona y renovable.
- Los compromisos en el marco del Protocolo de Kyoto y la disminución los gases con efecto invernadero. En este sentido la utilización de biocombustibles dan un balance neutro en el incremento global de CO_2.

Entre el conjunto de cultivos energéticos utilizables, los cultivos lignocelulósicos para la obtención de combustible sólido (en forma de astillas o pelets) destinado a las calefacciones, usos industriales o centrales de biomasa para producción de electricidad, se plantean como los más interesantes. Las características de los mismos son las siguientes:

- Tienen altos niveles de productividad ligados a bajos costos de producción, con lo que pueden plantearse como una alternativa real de cultivos agrícolas.
- Se pueden desarrollar en terrenos marginales, en tierras agrícolas marginalizadas por la falta de mercado para cultivos tradicionales o en terrenos retirados de la producción de alimentos, en línea con las directrices de la nueva PAC.
- Tienen un balance energético positivo de tal manera que la energía neta consumida para su producción es menor que la obtenida a partir del biocumbustible producido.

Caja 4.2. (b) La biomasa forestal como instrumento para mitigar el cambio climático

Entre las distintas especies forestales de interés, las salicáceas (géneros Populus y Salix) se presentan como las que a priori pueden ser más interesantes. Su facilidad de multiplicación, su alta producción, su crecimiento rápido y su aptitud para el rebrote en monte bajo, hacen que sean especies fácilmente adaptables a una selvicultura de rotaciones cortas para la producción de biomasa forestal. Los requerimientos de humedad de ambas especies hacen pensar en otros géneros como Robinia, Eucaliptus o Platanus como alternativas para zonas secas sin tantas necesidades hídricas.

Todas estas especies se plantan en densidades elevadas (entre 10.000 y 20.000 pies por ha) con turnos de corta relativamente cortos (de 3 a 6 años).

Con todo este panorama, hay una clara conciencia de la necesidad de desarrollar la biomasa vegetal y específicamente la de origen forestal. A pesar de ello, existen todavía importantes barreras para su desarrollo, entre ellas:

- La escasa disponibilidad del recurso en cantidad, calidad y precio.
- Las necesidades de acondicionamiento para el uso final por el consumidor.
- Las dificultades de transporte y almacenaje.
- El poco desarrollo de los canales de distribución.
- La existencia de usos secundarios (tableros de fibras, pasta de papel...).
- La necesidad de integración del los distintos sectores (agrícola, forestal, industrial...).
- La falta de información, con proyectos de demostración en poblaciones locales.
- La inexistencia de tecnología propia para el uso de los biocombustibles.
- La estandarización de equipos y de productos producidos.

El desarrollo de pequeños proyectos para el aprovechamiento de este recurso en ámbitos locales o comarcales puede ser una solución a corto plazo para cubrir las necesidades energéticas puntuales de muchas zonas. Además, en las tierras agrícolas marginales esta estrategia permitiría recuperar la MOS, contribuyendo a la conservación de los suelos y aguas, aspecto recogido en la reciente «Estrategia temática de protección del suelo» (<*http://ec.europa.eu/environment/soil/index.htm*>).

4.3. Impacto de la gestión forestal sobre la fijación de CO_2 durante el último siglo

A finales del siglo XIX se inició en España la organización de los aprovechamientos forestales en los montes. Esta organización recibe el nombre de ordenación de montes, o con un término más clásico *dasocracia*, y es parte de la planificación forestal. Gracias a que desde el inicio de los trabajos de ordenación se han registrado las decisiones tomadas y los resultados obtenidos, podemos hoy analizar como ha evolucionado el dióxido de carbono fijado en la biomasa forestal. Uno de los aspectos más relevantes en la lucha contra el cambio climático y que las administraciones tratan de garantizar es el de la planificación de los recursos forestales. La actual Ley de Montes así lo refleja en su articulado cuando hace referencia a los incentivos por externalidades ambientales de montes ordenados (Art. 65 2.b). Sin embargo, el IPCC en su informe sobre mitigación (IPCC, 2001) alerta sobre la temporalidad de los reservorios de carbono en los bosques y del peligro que entrañan si no se controlan las emisiones derivadas de grandes incendios forestales. Es más, asegura que la cantidad de carbono almacenado o la cantidad de emisiones evitadas depende de las prácticas de ordenación que pueden orientarse a la acumulación a largo plazo o a la mayor absorción en el menor tiempo posible. Un compromiso entre ambas soluciones debería estar presente en los proyectos de ordenación que se aplican en los montes.

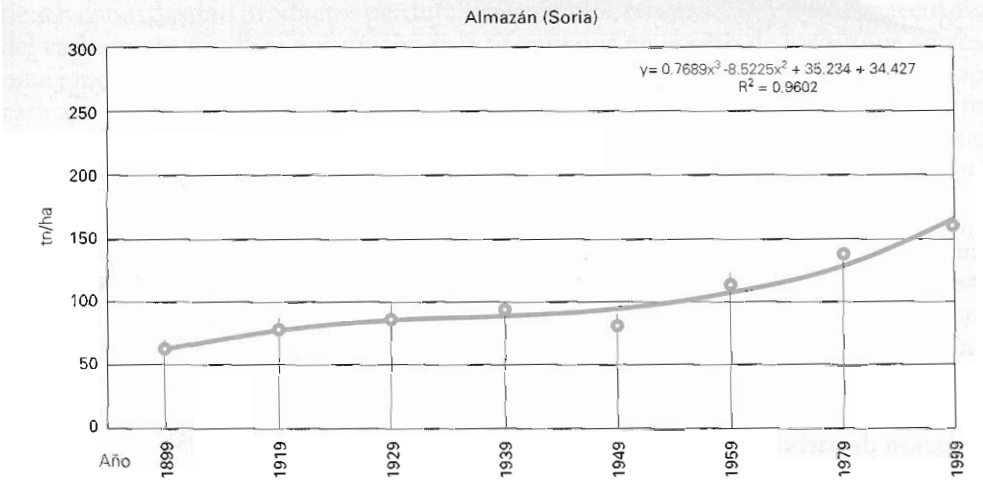
El papel de la ordenación de montes supondrá la aplicación de medidas selvícolas sostenibles que aumenten la cantidad de carbono fijado en los bosques, como por ejemplo en el monte «Matas de Valsaín» (Segovia) que en el periodo 1993-2003 la fijación neta de carbono se incrementó un 6,28% (Montero et al., 2004). Otro ejemplo lo encontramos en el monte «Pinar Llano» de Valladolid que, manteniendo la posibilidad calculada en la Revisión del proyecto de Ordenación (Martín, 2005) se incrementará en los próximos 10 años el carbono fijado en un 7,23%.

En las regiones templadas y húmedas del Norte peninsular las cifras entre el 2º y 3er inventario forestal nacional nos indican que en el período de 11 años el valor del monte ha aumentado fuertemente como sumidero del C atmosférico. Este aumento es debido principalmente al incremento de la superficie arbolada (34,4%) y, en menor grado, al incremento del contenido de carbono en los ecosistemas forestales (11,6%), dado el aumento de superficies y la mayor presencia de frondosas.

A partir del estudio de Osorio et al (2006), podemos conocer la evolución del dióxido de carbono fijado en los pinares de pino negral (*Pinus pinaster* Ait.) de Almazán (Soria). En este estudio se ha revisado la ordenación de los montes de Almazán durante un siglo, desde el año 1899 hasta 1999. En los documentos de la ordenación original y en las sucesivas revisiones de la planificación se reflejan el número de árboles que de distintos tamaños existían en estos montes. Esta información junto con las ecuaciones de biomasa desarrolladas por Montero et al (2005) ha permitido reconstruir la evolución del CO_2 fijado en los pinares de Almazán.

Durante el siglo estudiado (fig. 4.9) se ha producido un incremento constante del CO_2 secuestrado que ha oscilado entre 0,78 y 3,11 Tn CO_2/ha y año. La única excepción fue el periodo inmediatamente posterior a la guerra [in]civil, ya que la mayor presión sobre los recursos naturales debido a la penuria llevó a una disminución del CO_2 fijado en la biomasa (reducción de 1,49 Tn de CO_2/ha y año) lo que hizo que no se recuperaran los niveles de CO_2 secuestrado en la biomasa arbórea de estos pinares hasta el año 1954. ¡Quince años después del final de la desgraciada contienda!

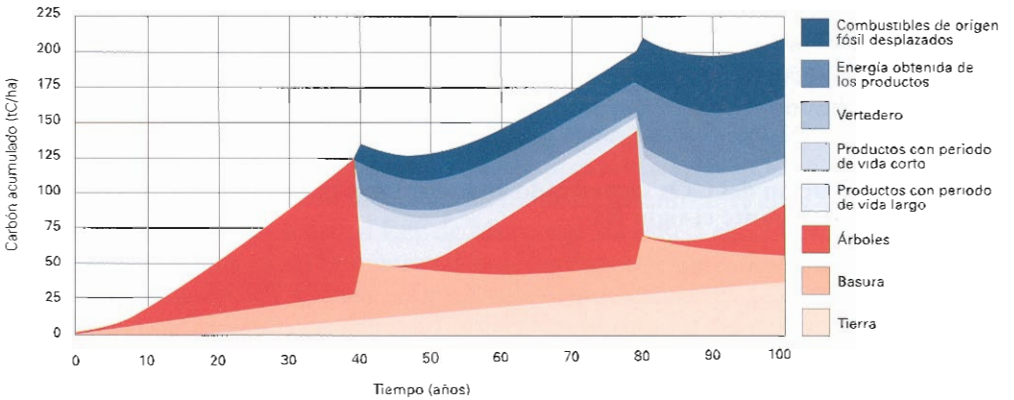
Figura 4.9. Evolución del CO_2 secuestrado en los pinares (*Pinus pinaster* Ait.) de Almazán (Soria) durante el siglo XX



4.4. Selvicultura y fijación de CO_2

El almacenamiento de carbono en los bosques y en los productos forestales ha sido propuesto como una estrategia adecuada para mitigar los efectos del cambio climático (Figura 4.9). Hasta cierto punto, se trata de comprar tiempo mientras se consigue una solución definitiva al problema del cambio climático que tan sólo puede llegar de la mano de un cambio radical de nuestra dependencia de la energía proveniente de combustibles fósiles. Sin embargo, se ha planteado la hipótesis de que en un futuro próximo los bosques puedan convertirse en emisores de carbono en lugar de sumideros (Kurz y Apps, 1999; Gracia et al. 2001, Reichstein et al. 2002).

Figura 4.10. Balance de carbono acumulado en un bosque con plan de ordenación



Fuente: IPCC, 2001.

La acumulación de biomasa y carbono en masas forestales se puede incrementar a través de diferentes opciones (Gracia et al., 2005). Como ejemplos se puede señalar, entre otras, la protección frente a los incendios, el control de enfermedades y plagas, el cambio de la amplitud del turno, la regulación de la densidad arbórea, la mejora del estado nutricional, la selección de especies y genotipos, el empleo de biotecnología o la adecuada gestión de los restos de corta. La mayor parte de estas actividades pueden incrementar la tasa de acumulación de carbono entre 0.3 y 0.7 Mg C ha^{-1} a^{-1} (Gracia et al., 2005).

El almacenamiento del carbono depende de la composición específica del rodal y de la calidad de la estación (Bravo et al, 2006). Así, se sabe que las coníferas contienen una mayor proporción de carbono que las frondosas (Ibáñez et al., 2002) Bogino et al., (2006) estudiando, en el monte de Valsaín (Sistema Central), rodales puros de *Pinus sylvestris* y de *Quercus pyrenaica* y rodales mixtos de ambas especies determinaron que en las masas de pino silvestre se almacena más carbono que en la de rebollo, dándose una situación intermedia en las masas mixtas. Al estudiar rodales de pino silvestre y pino pinaster, Bravo et al., (2006) encontraron que los rodales de pino silvestre almacenan más cantidad de carbono que los rodales de pino pinaster. Estas diferencias encontradas pueden deberse a tres motivos principales: (1) diferente configuranción del fuste y del resto de la parte área del árbol de cada una de las especies, (2) diferente estructura forestal (es decir, diferente distribución diamétrica) generada por los diferentes tratamientos selvícolas aplicados y (3) insuficiente conocimiento de la biomasa subterránea lo que hace que infraestime su importancia.

Modificaciones de la amplitud del turno

Como ya hemos visto antes, existen diversos criterios para fijar el turno adecuado para conseguir simultáneamente la obtención de productos forestales y la regeneración del bosque. El criterio más utilizado es el denominado de máxima renta en especie (Fig. 4.11) que determina que el bosque se corta cuando se alcanza su crecimiento medio máximo. Este criterio es el más utilizado en España y ha mostrado que es posible obtener, de forma simultánea, la maximización la producción forestal y la obtención de otros bienes y servicios que la sociedad demanda (setas, caza, conservación de ecosistemas...). El turno tiene un impacto ambivalente sobre el almacenamiento de carbono en los bosques (Tabla 4.3). Si bien turnos cortos permiten obtener un mayor crecimiento anual medio, los turnos largos facilitan que la proporción de carbono en la corta final en relación con lo obtenido en cortas intermedias sea mayor (Bravo et al., 2006) y dado que los productos así obtenidos tienen como destino productos perdurables (muebles, construcción...) el almacenamiento del carbono, se produce por mucho más tiempo que en el caso de los turnos cortos. En estaciones poco productivas se recomienda alargar los turnos para conseguir almacenar carbono ya que se obtienen resultados similares que cuando se aplican turnos cortos en estaciones muy productivas (Bravo et al., 2006). Por otro lado, los turnos largos permiten obtener productos de mayor tamaño que se pueden destinar a usos que almacenarán el carbono por más tiempo.

Tabla 4.3. Impacto de la composición específica, la calidad de la estación y el turno sobre el carbono secuestrado en masas de pino silvestre y de pino negral

Especie	Calidad de estación	Turno(años)	Crec. medio (t año^{-1})
Pinus sylvestris L.	17	83 137	2.16 1.47
	23	69 122	2.99 2.42
Pinus pinaster Ait.	15	101 149	1.28 1.06
	21	83 128	1.89 1.57

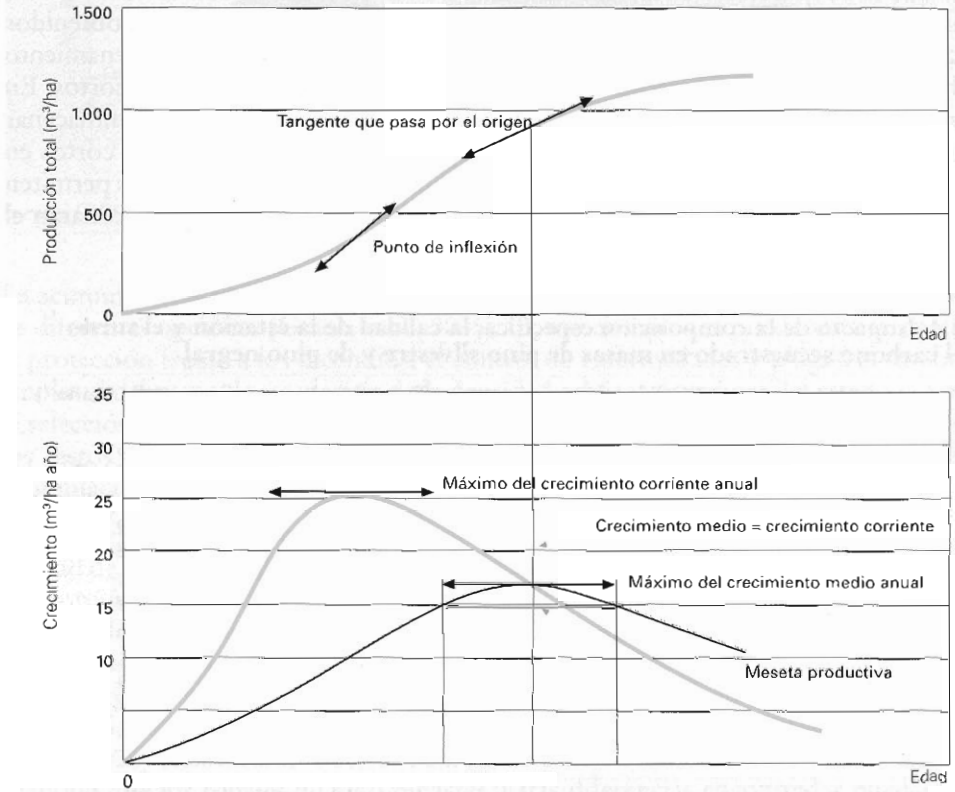
Fuente: Adaptado de Bravo et al., 2006b

Si el alargamiento del turno es elevado pueden aparecer árboles muertos (en pie o derribados) que conllevan un aumento de la biodiversidad (Franklin et al, 1997). Este aumento de la presencia de madera muerta tiene un importante impacto sobre el almacenamiento de carbono en los sistemas forestales porque (1) la tasa de descomposición

de la materia muerta varía con la especie, el tamaño del árbol, tipo de sustrato (corteza, albura y duramen) y las condiciones estacionales (temperatura, humedad,...) y (2) puede incrementar el riesgo frente a perturbaciones (por ejemplo, incendios) y por tanto de liberaciones bruscas de incendios.

Un aspecto importante es la distribución de la biomasa en diferentes fracciones que pueden permitir diferentes usos y por tanto un tiempo de almacenamiento de carbono diferente. Bravo et al., (2006b) comprobaron que la proporción de la biomasa, y por tanto del carbono,

Figura 4.11. Determinación del turno de máxima renta en especie



Bajo este criterio el momento óptimo de corta es el momento en que el crecimiento medio es máximo. Se observa que el crecimiento medio máximo coincide con el momento que se iguala con el crecimiento corriente anual (o crecimiento de un año concreto). Dado que el crecimiento medio culmina en una meseta, el alargar o acortar ligeramente el turno no tiene un impacto significativo sobre la producción global (madera, carbono fijado...) del bosque.

almacenado en el fuste de *Pinus sylvestris y Pinus pinaster* aumenta con la edad mientras que en las ramas disminuye. Este hecho tiene un impacto considerable sobre el posible aprovechamiento de la biomasa residual de los tratamientos selvícolas para la generación de energía. En general, se ha comprobado que en el caso de los pinares el porcentaje de biomasa que corresponde a las ramas de entre 2 y 7 cm, que es la que se puede utilizar para la obtención de energía, decrece con la edad (Bravo et al., 2006b) hasta una determinada edad, en la que aumenta ligeramente por el incremento de biomasa debido al engrosamiento de las ramas.

Regulación de la densidad de los árboles. Claras

Las claras son una de las intervenciones selvícolas más importantes en los bosques gestionados de manera sostenible. Entre sus objetivos económicos y selvícolas destacan (Río, 1999):

- Reducir la competencia para procurar estabilidad biológica y mejorar el estado sanitario.
- Regular o mantener la composición específica y preparar la masa para la regeneración natural.
- Anticipar la producción de tal manera que al final del turno sea máxima.
- Incrementar el valor y dimensiones de los productos.

El régimen de claras queda definido, entre otros, por la edad de iniciación, el tipo, el peso, medido como porcentaje del número de pies o de área basimétrica extraída respecto al valor antes de la clara y el número de intervenciones. La resultante de biomasa que se consiga al final del turno es producto de las actuaciones intermedias como las claras. Bravo-Oviedo y Río (2006), ensayaron distintos regímenes de claras en masas de pino negral en el Sistema Central y comprobaron que un régimen intensivo de tres claras, con edad de iniciación 20 años y con peso en área basimétrica del 35%, generaba mayores escuadrías y una mayor incremento anual de carbono fijado (1,96 t/ha y año frente a las 1,77 t/ha y año con peso 25% y edad de iniciación 30 años). Lo mismo se puede decir para buenas calidades de pino silvestre, también en el Sistema Central, donde el incremento anual es mayor en regímenes de claras intensos como el Modelo E: claras fuertes con selección de árboles del porvenir y turno 100 años (Montero et al., 2003).

A continuación se presenta la incidencia de dos regímenes de claras en la fijación de carbono al final del turno, y se comparan con la alternativa de no realizar claras. Las características de los dos tipos de claras son:

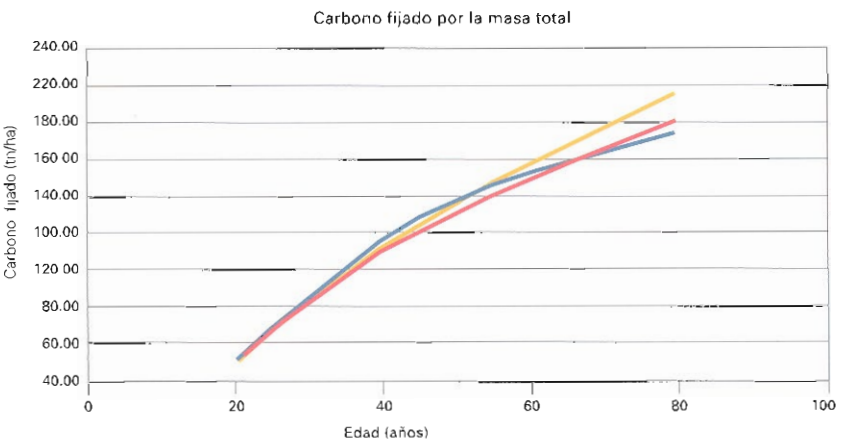
Escenario 1. Tres intervenciones en las que se extrae siempre el mismo peso (35% de área basimétrica). La primera a los 20 años.

Escenario 2. Tres intervenciones en las que se extrae un peso variable (20% en las dos primeras y un 35% en la última). La primera clara se realiza a los 30 años.

Escenario sin clara: En este caso se ha aplicado una mortalidad natural que oscila entre 0,11 y 0,5% para un diámetro medio cuadrático de 15 cm.

Las simulaciones se han llevado a cabo utilizando la aplicación Negral, basada en el modelo de crecimiento y producción para pino negral propuesto por Bravo-Oviedo et al., (2004). La tabla 4.4 muestra los resultados de las simulaciones y la figura 4.12 la evolución de las toneladas fijadas por la masa total.

Figura 4.12. Toneladas de carbono por hectárea fijado al aplicar distintas alternativas selvícolas en una masa de pino negral



Sólo se incluye el carbono fijado por la biomasa viva. En escenario 1 de claras, en escenario 2 de claras, y escenario sin clara. Más información en el texto.

La intervención siempre genera una mayor fijación de carbono que las masas no intervenidas, incluso sin incluir en los cálculos el carbono secuestrado por los productos generados en las claras o la sustitución de combustibles fósiles por la utilización de residuos de corta. Sin embargo, no todas las intervenciones fijan la misma cantidad. Así, en el escenario 1 se consigue un 12,47% más de carbono fijado por la fracción correspondiente al tronco que con el escenario sin clara y un 8.69% más que el escenario 2. Este último, sólo mejora al final del turno en un 3.48% al escenario sin claras. En términos de incremento medio anual de carbono fijado por hectárea el escenario 1 consigue 2,65 t, el escenario 2 unas 2,4 t y el escenario sin claras 2,36 t.

Tabla 4.4. Carbono fijado en diferentes alternativas de claras en toneladas por hectárea referido por fracciones y alternativas

Escenario 1

Edad	N	Dg	Tronco	B7	B2_7	B2	R	T
20	1500	15.9	29.7	0.0	1.9	5.9	11.5	48.9
25	726	22.0	42.1	0.0	2.7	7.9	15.8	68.6
30	726	24.8	53.6	0.0	3.5	9.9	19.7	86.7
35	374	31.2	64.5	0.1	4.2	11.6	23.3	103.7
40	374	34.1	74.4	0.2	4.9	13.2	26.6	119.2
45	243	37.4	82.9	0.3	5.5	14.5	29.4	132.5
50	243	40.2	91.2	0.4	6.1	15.8	32.1	145.6
55	243	42.7	99.3	0.6	6.6	17.0	34.7	158.1
60	243	44.9	106.9	0.8	7.2	18.2	37.1	170.1
80	243	51.5	133.3	1.8	9.0	22.1	45.6	211.9

Escenario 2

Edad	N	Dg	Tronco	B7	B2_7	B2	R	T
20	1500	15.9	29.7	0.0	1.9	5.9	11.5	48.9
25	1500	18.2	41.8	0.0	2.7	8.1	15.8	68.3
30	1500	19.9	52.5	0.0	3.4	10.0	19.6	85.5
35	1021	23.4	63.0	0.0	4.1	11.6	23.2	102.0
40	1021	24.8	71.8	0.1	4.7	13.1	26.2	116.0
45	816	26.3	79.9	0.1	5.2	14.5	29.0	128.7
50	816	27.6	87.3	0.1	5.7	15.7	31.5	140.3
55	531	29.3	94.0	0.1	6.2	16.8	33.7	150.9
60	531	30.8	100.4	0.2	6.6	17.9	35.9	161.0
80	531	35.2	122.7	0.4	8.1	21.4	43.2	195.8

Escenario sin claras

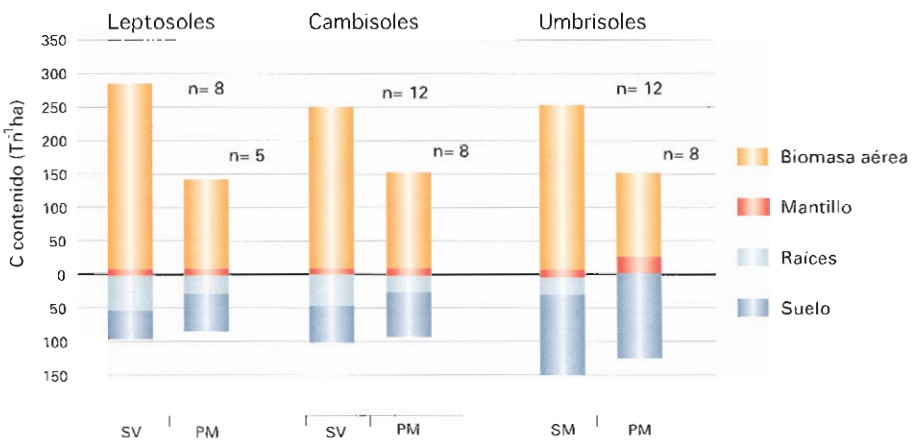
Edad	N	Dg	Tronco	B7	B2_7	B2	R	T
20	1500	15.9	29.67	0.00	1.87	5.87	11.46	48.87
25	1500	18.2	41.8	0.00	2.67	8.06	15.82	68.30
30	1315	21.2	54.16	0.00	3.49	10.15	20.06	87.78
35	1183	23.8	65.38	0.06	4.25	11.98	23.83	105.40
40	1081	26.1	75.53	0.10	4.95	13.61	27.17	121.23
45	1000	28.2	84.68	0.15	5.58	15.04	30.15	135.43
50	998	29.1	91.44	0.18	6.04	16.15	32.41	146.00
55	997	29.8	97.37	0.21	6.44	17.12	34.40	155.27
60	995	30.5	102.6	0.24	6.80	17.97	36.15	163.46
80	994	32.3	118.6	0.35	7.89	20.54	41.44	188.47

N: Número de pies/ha, Dg: Diámetro medio cuadrático en cm, Tronco: fracción tronco, **B7***: fracción de ramas de más de 7 cm, B2_7: fracción de ramas entre 2 y 7 cm. B2: fracción de ramas de menos de 2 cm. R: fracción radical. T:Total.*

Conservación de los bosques naturales

Los bosques donde la tasa de aprovechamiento es similar a la de su crecimiento constituyen una fuente sostenible de provisión de productos madereros duraderos, al mismo tiempo que conservan el carbono capturado. En algunos casos, la difícil accesibilidad y la baja rentabilidad de la madera actualmente ha permitido, junto con la despoblación de zonas de montaña, que muchos de los bosques montanos españoles almacenen cantidades muy importantes de carbono en árboles de gran diámetro. Un ejemplo lo constituye la importante acumulación de carbono en biomasa y suelos de hayedos naturales y seminaturales del Norte peninsular (Figura 4.13).

Figura 4.13. Contenidos medios de carbono (Mg C ha^{-1}) en biomasa y suelos de bosques de *Fagus sylvatica* en Galicia



SV: Bosques seminaturales, no manejados (con árboles de más de 60 cm de D.A.H.); PM: Bosques parcialmente manejados. ***Fuente:*** *Merino et al., 2006.*

Conviene, pues, recordar que muchos bosques son marginales, es decir, acumulan carbono hasta ahora, sólo por el hecho de que ya no son rentables sus antiguas explotaciones, no por alguna intencionalidad de manejo. Esto ocasiona que bastantes rebollares se estén transformando, paulatinamente, de antiguos montes bajos para producir carbón vegetal en montes medios (incluso montes altos) tras su abandono, o en algún caso explotación como silvopastoral tras su adecuado adehesamiento. Muchos rebollares del Oeste español, ahora montes medios, tienen la edad «del butano», es decir, justo cuando la aparición de gas barato arrinconó las cocinas económicas de carbón vegetal.

Si a un mejoramiento de estos ecosistemas forestales abandonados y, a veces, degradados se les une una gestión que retroceda la fuerte fragmentación en la que se encuentran en

muchas regiones españolas (permitiendo preservar mejor su biodiversidad por facilitar los movimientos horizontales de la fauna y la mejor gestión en cuencas de las aguas y la conservación de los suelos) no cabe duda que algo más que la simple captura de carbono se habrá conseguido. El problema es, pues, político, de coste y de oportunidad; y la solución no fácil.

Incremento de la superficie forestal

Puesto que los terrenos agrícolas funcionan, en general, como emisores de gases de efecto invernadero, y los forestales, como acumuladores de carbono, un aumento de la superficie forestal debe contribuir a capturar parte del CO_2 atmosférico. De este modo, en las últimas décadas, la menor presión por la biomasa en la zona templada (por tratarse en general de países con economías boyantes) ha permitido la reforestación de muchos de los terrenos marginales.

La recuperación de la superficie forestal en Europa a partir de la década de los 70 (y antes en EE. UU.: la actuación conocida como *set aside)* ha conseguido aumentar las reservas de carbono, tanto en la biomasa arbórea como en el suelo (Liski et al., 2002). Datos recientes muestran que los sistemas forestales de Europa están almacenando entre el 9 y el 12% de las emisiones antropogénicas de CO_2. España es uno de los países que más han contribuido a incrementar la superficie forestal en Europa, lo que se debe en buena parte al abandono de viñedos y otras tierras agrarias que se encontraban en situación de marginalidad.

En el marco del Programa Nacional de Reforestación de Tierras Agrarias, recuperando la idea de repoblación discutida y realizada por el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) tras la Guerra (in)Civil, desde 1994 se han repoblado 600.000 ha, obviamente sin descontar los fuegos posteriores. En las regiones templadas del norte de España, en el periodo de 11 años transcurridos entre el segundo y tercer inventarios forestales (1986 y 1997), el almacenamiento de carbono en biomasa arbórea ha incrementado un 50% (Xunta de Galicia, 2001).

Gestión selvícola y secuestro de carbono en suelos

Las cortas forestales, especialmente las cortas a hecho, y la preparación intensiva del suelo producen pérdidas de carbono edáfico (Turner y Lambert, 2000). El tratamiento de los restos generados en el aprovechamiento (triturándose y esparciéndose in situ) puede paliar en parte estas pérdidas de carbono.

Los restos de corta pueden significar del 20 al 35% del carbono contenido en el árbol, por lo que su aplicación contribuye a mantener el contenido de materia orgánica del suelo o, al menos, paliar su caída. Algunos autores (Lal, 1997) estiman que un 15% del carbono de estos residuos puede ser transferido a la materia orgánica del suelo en corto plazo en los sistemas templados.

La aplicación de enmiendas orgánicas y residuos, como *compost* (Borken et al., 2004), lodos (Mosquera Losada et al., 2001) y cenizas de biomasa (Solla Gullón 2004) puede evitar la pérdidas de MOS en las plantaciones forestales. Una alternativa para paliar las pérdidas de COS en los terrenos incendiados es el aporte de lodos de depuradora (Guerrero et al., 2000).

Figura 4.14. Una correcta gestión de los restos de corta es fundamental para evitar la pérdida de carbono edáfico, aspecto que también es importante en la preservación de los suelos y aguas

Fotografías: A. Merino.

Otros tipos de gestión forestal que contribuyen a capturar carbono

Sistemas silvopastorales. En terrenos agrícolas marginales se pueden establecer bosques de repoblación o sistemas silvopastorales. Un ejemplo de este tipo de ecosistemas de uso múltiple pueden ser las dehesas, pero es dudoso que, sin las subvenciones actuales, este tipo de gestión silvopastoril pudiera ser rentable, a no ser que sean latifundios y se complementen con otros servicios, quizás el más importante la caza, dado que la baja densidad del arbolado (alrededor de 100 árboles ha^{-1}), unido al bajo crecimiento anual, puede que no los hagan muy útiles en un mercado de captura de carbono. (fig. 4.15)

Protección y restauración de turberas y humedales. Como ya se ha dicho, existe un enorme potencial para retener carbono en los humedales y turberas degradados. Los humedales se puede recuperar restaurando las condiciones hidrológicas originales (eliminación de drenes artificiales; recuperación de los vertidos de riachuelos, etc.); téngase en cuenta que el 30% del carbono orgánico de los suelos del planeta se concentra en suelos anegados o humedales y, especialmente, en turberas (fig.4.16).

Figura 4.15. Las dehesas

Están recibiendo diversas subvenciones que se intentan eliminar en un futuro próximo. Una manera de mantenerlas como servicio ambiental sería redirigir su manejo múltiple actual, contemplando también la captura de carbono (o, al menos, el evitar emisiones de CO_2 como consecuencia de su degradación o abandono). (Fotografía: J. F. Gallardo).

Figura 4.16. La restauración de humedales no sólo contribuye a capturar cantidades importantes de carbono, sino además, ayuda a recuperar las importantes funciones ambientales de estos entornos

Fotografías: A. Merino.

Retención de carbono en suelos de minas y otras zonas muy degradadas. La recuperación de escombreras o suelos en el entorno de minas abandonadas y otros espacios muy degradados constituye otra posibilidad más para retener carbono mediante selvicultura, al mismo tiempo que se mejoran las condiciones ambientales y visuales de esos entornos.

Los suelos de minas suelen tener bajos contenidos en materia orgánica por su antigua remoción o aportaciones de gangas, por lo que su transformación a praderas o su reforestación implica ganancias seguras de carbono edáfico, más o menos inmediatas, cifrado se entre 0,20 y 1,85 Mg C ha^{-1} a^{-1} (Ussiri y Lal, 2005). Datos obtenidos en diferentes minas españolas muestran acumulaciones de carbono muy importantes, tanto en suelo como en vegetación (Leirós et al., 1993 y Macías et al., 2001).

En el un Proyecto INCO/U.E. (*REVOLSO*) se ha comprobado que en México los suelos volcánicos muy erosionados (tepetates) pueden ponerse en cultivo o en régimen agroforestal capturando carbono, en los primeros años, a un ritmo medio entre 0,2 y 0,5 Mg C ha^{-1} a^{-1}, pues hay que tener en cuenta que la fijación disminuye con los años hasta alcanzarse un equilibrio a largo plazo; así, alcanzado tras unos 15 años, la ganancia neta fue de 5 Mg C ha^{-1}, lo cual tiene gran importancia, habida cuenta la gran extensión que ocupan los suelos volcánicos en los países andinos y mesoamericanos.

Todas estas alternativas contribuyen a mejorar los aspectos ambientales y paisajísticos de estas áreas.

Figura 4.17. La restauración de terrenos degradados constituye una excelente oportunidad para capturar carbono en suelo y vegetación, además de contribuir a mejorar el paisaje

Fotografía: J. F. Gallardo.

4.5. Bibliografía

Bogino, S., Bravo, F., Herrero, C. (2006), «Carbon dioxide accumulation by pure and mixed woodlands of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pyrenaica* Willd. in Central Mountain Range Spain», en Bravo, F. (ed.), *Proceedings of the IUFRO Meeting on Managing Forest Ecosystems:The Challenges of Climate Change*, Palencia.

Borken, W., Xu, Y. J., Beese, F. (2004), «Ammonium, nitrate and dissolved organic nitrogen in seepage water as affected by compost amendment to European beech, Norway spruce, and Scots pine forests», *Plant and Soil*, 258, 121-134.

Bravo, F., Bravo-Oviedo, A., Díaz-Balteiro, L. (2006), «Carbon sequestration in Spanish Mediterranean forests under two management alternatives: A modeling approach», *enviado a European Journal of Forest Research*. Manuscrito no publicado.

Bravo-Oviedo, A., Río, M. del (2006), «Thinning regimes related to carbon fixation in Mediterranean Pinus pinaster Ait. stands», en Bravo, F. (ed.), *Proceedings of the IUFRO Meeting, Managing Forest Ecosystems: the Challenges of Climate Change*, Palencia.

Bravo-Oviedo, A., Río, M. del, Montero, G. (2004), «Site index curves and growth model for Mediterranean maritime pine *Pinus pinaster* Ait. in Spain», *Forest Ecology and Management*, 201: 187-197.

Franklin J. Berg D. Thomburgh D. Tappeiner J. (1997), «Alternative silvicultural approaches to timber harvesting: variable retention. en: Kohm D, Franklin J. (eds.), Creating a Forestry for the 21st. Century», Island Press, Washington.

Gracia, C., Sabaté, S., López, B., Sánchez, A. (2001), «Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión forestal y cambio global», en: Zamora, R. y Puignaire, F. I. (eds.), *Aspectos funcionales de los ecosistemas mediterráneos* CSIC-AEET, Granada.

Gracia, C.; Gil, L.; Montero G. (2005), «Impactos sobre el sector forestal», en: Moreno Rodríguez, J. M. ed., *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*, Ministerio de Medio Ambiente.

Guerrero, C., Gómez, I., Solera, J. M., Moral, R., Beneyto, J. M., Hernández, M. T. (2000), «Effect of solid waste compost on microbiological and physical properties of a burnt forest soil in field experiments», Biology and Fertility of Soils, 32, 410-414.

Ibáñez, J. J., Vayreda, J., Gracia, C. (2002), «Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Catalunya», en: Bravo, F., del Río, M., del Peso, C. (eds.), *El Inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la Gestión Forestal Sostenible*.

IPCC (2001), *Tercer Informe de Evaluación. Cambio climático 2001. Mitigación. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico*, Ed. Omm-Pnuma.

Kurz, W. A., APPS, M. J. (1999), «A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector», *Ecological applications,* 9: 526-547.

Lal, R. (1997), «Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO_2-enrichment», *Soil and Tillage Research*, 43, 81-107.

Leirós, M. C., Gil-Sores, F., Ceccanti, B., Trasar-Cepeda, M. C., Gozález-Sangregorio, M. V. (1993), «Humificación proceses in reclaimed open cast lignite mine soils», *Soil Biolgy and Biochemistry*, 25, 1391-1397.

Logan, R. (2002), *Oregon's forest protection laws.* [An illustrated manual]. Oregon Forest Resources Institute, Portland.

Liski, J. Perruchoud, D. Karjalainen, T. (2002), «Increasing carbon stocks in forest soils of western Europe», *Forest Ecology and Management* 169, 159-175.

Macías, F., Gil Bueno, A., Monterroso, M. (2001b), «Fijación de carbono en biomasa y suelos de mina revegetados con cultivos energéticos», en III Congreso Forestal Español, mesas 1 y 2, 524-527.

Merino, A., Álvarez-González, J. G., Real, C., Rodríguez-Guitián, M. (2006), «Forest structure and C stocks in natural forest fragments of *Fagus sylvatica* in southern Europe: the effects of past management» *Forest Ecology and Management* (en prensa).

Monceau, M. D. D. (1764), *De l'exploitation des bois. Seconde Partie*. Ed. Guerin & Delatour.

Montero, G., Muñoz, M., Donés, J., Rojo, A. (2004), «Fijación de CO_2 por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd», en los montes «Pinar de Valsaín» y «Matas de Valsaín». *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales,* 13 (2): 399-416.

Montero, G. Río, M., Cañellas, I., Muñoz, M., Rojo, A. (2003), *Including CO_2-fixation in the evaluation of silvicultural alternatives in Scots pine stands in Spain*. en: Proceedings of Decision Support For Muyltiple Purpose Forestry, Vienna, April 23rd-25th.

Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. (2005), *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles,* Monografías INIA: Serie Forestal, Madrid.

Mosquera-Losada M. R., Lopez-Diaz L., Rigueiro-Rodriguez A. (2001), «Sewage sludge fertilisation of a silvopastoral system with pines in northwestern Spain», *Agroforestry Systems*, 53, 1-10.

Osorio, L. F., Pando, V., del Peso, C., Bravo, F. (2006), «Long-Term implications of traditional forest regulation methods applied on Maritime pine *Pinus* pinaster Ait. forests in Central Spain», *manuscrito.*

Reichstein, M., Tenhunen, J. D., Roupsard, O., Ourcival, J. M., Rambal, S., Miglietta,F., Peressotti, A., Pecchiari, M., Tirone, G.,Valentini, R. (2002), «Severe drought effects on ecosystem CO_2 and H_2O fluxes at three Mediterranean evergreen sites: revision of current hypothesis?», *Global Change Biology* 8: 999-1017.

Río, M. del (1999), *Régimen de claras y modelos de producción para Pinus sylvestris L. en los sistemas Central e Ibérico*, tesis doctoral, INIA.

Solla Gullón, F. (2004), *Aplicación de cenizas de biomasa arbórea como fertilizante y encalante de plantaciones forestales en Galicia*, tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela.

Turner J., Lambert M. (2000), «Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia», *Forest Ecology and Management*, 133: 231-247.

Ussiri, D. A. N., Lal, R. (2005): «Carbon sequestration in reclaimed minesoils», *Critical Reviews in Plant Science* 24: 151-165.

Xunta de Galicia (2001), *O monte Galego en cifras*, Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.