

CAPÍTULO.-

SELVICULTURA DE *PINUS SILVESTRIS*

Gregorio Montero, Miren del Río, Sonia Roig

*Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).
Carretera de La Coruña Km7. E-28040 MADRID. montero@inia.es, delrio@inia.es, sroig@inia.es*

0. INTRODUCCIÓN

I. TIPOLOGÍA

- I.1. TAXONOMÍA: RAZAS Y VARIEDADES
- I.2. TIPOLOGÍA DE LOS PINARES ALBARES
 - I.2.1. Pinares Eurosiberianos
 - I.2.2. Pinares Submediterráneos
 - I.2.3. Pinares Mediterráneos
 - I.2.4. Repoblaciones

II. REGENERACIÓN Y TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN

- II.1. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA REGENERACIÓN
- II.2. TRATAMIENTOS GENERALES

III. TRATAMIENTOS PARCIALES

- III.1. LIMPIAS
- III.2. CLAREOS
- III.3. CLARAS
- III.4. PODAS
- III.5. FERTILIZACIÓN
- III.6. CORTAS SANITARIAS

IV. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

- IV.1. CALIDAD DE ESTACIÓN
- IV.2. CRECIMIENTO
- IV.3. TURNO
- IV.4. PRODUCCIÓN
- IV.5. MODELOS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

V. ESQUEMA SELVÍCOLA

VI. BIBLIOGRAFÍA

0. INTRODUCCIÓN

El pino silvestre es una de las especies con mayor importancia forestal en España, tanto por la superficie que ocupa como por las múltiples funciones que cumplen sus masas, siendo una de las especies con más tradición selvícola. La superficie forestal cubierta con masas de *Pinus sylvestris* L. se sitúa cerca de 1.280.000 hectáreas, de las cuales unas 600.000 hectáreas son pinares naturales. Esta superficie de pinares albares naturales y artificiales supone unas existencias de madera con corteza de 91.338.295 m³, con un crecimiento corriente anual de 3.691.826 m³/año (datos Segundo Inventario Forestal Nacional, Tabla 7). De este crecimiento se aprovecha anualmente en torno a 700.000 m³, lo que implica que se esté produciendo un aumento de las existencias. Los objetivos de las masas de pino silvestre varían en función de las particularidades de cada lugar, desde masas exclusivamente protectoras hasta puramente productivas, con numerosas situaciones de función múltiple: producción de madera y hongos, caza, recreo, protección de vida silvestre, etc. Debido a este interés ecológico, productor y protector, muchas masas de pino albar se encuentran ordenadas desde finales del siglo XIX, aportando valiosa información sobre la selvicultura de esta especie.

I. TIPOLOGÍA

I.1. TAXONOMÍA: RAZAS Y VARIEDADES

El pino silvestre es una especie con una enorme amplitud ecológica, lo que se traduce en una gran extensión de su área natural, variedad de hábitats y diversidad morfológica. Es el árbol de área más extensa de Europa y el pino de mayor área natural que se conoce, así como el de mayor difusión artificial tanto en Europa como en Asia. La diversidad de situaciones en las que se encuentra dentro de un área de distribución tan amplia ha hecho que se hayan diferenciado multitud de razas geográficas y variedades adaptadas a condiciones locales. Se han reconocido más de 150 variantes de esta especie cuyo tratamiento taxonómico dista de estar bien establecido (Castroviejo *et al.*, 1986). De España fueron descritas las siguientes variedades: *nevadensis* Christ (Sierra Nevada), var. *olivicola* Vayr. (Cataluña), var. *iberica* Svob. (Sierra de Guadarrama), var. *pyrenaica* Svob. (C y W de Pirineos) y var. *catalaunica* Gaussen (NE Cataluña).

Nicolás y Gandullo (1969) proponen, basándose en la división anterior y en las condiciones ecológicas de las masas y la calidad de estación, la existencia de cuatro ecotipos:

- Ecotipo catalán: Pirineos y subpirineos catalanes, en Gerona, Barcelona y Lérida.
- Ecotipo pirenaico: en Navarra, Huesca y Zaragoza
- Ecotipo ibérico: Sistema Ibérico y Central, Cordillera Costero-Catalana, Cornisa Cantábrica
- Ecotipo nevadensis: Sierra Nevada.

Estos ecotipos han constituido la primera división adoptada para la definición de 17 regiones de procedencias en España, cuya caracterización ecológica y de crecimiento permite la elección del material forestal de reproducción más idóneo y adaptado a cada localización (Catalán *et al.*, 1991). Así, en estudios de variación genética neutra y adaptativa de la especie se ha mostrado una estructura geográfica, que en general se

traduce en una mayor adaptación de las procedencias cercanas a cada sitio de ensayo (Prus-Glowacki and Stephan, 1994; Alía *et al.*, 2001).

Sin embargo, en un estudio detallado de la variación de la especie en España, la mayoría de los caracteres no tuvieron una segregación disyunta entre regiones, sino una variación clinal respecto a factores climáticos y/o geográficos, con una gradación continua entre todas las procedencias españolas (Galera, 1993). Del mismo modo, en un estudio de la estructura genética de las poblaciones situadas alrededor de la Meseta Norte contrasta la alta variabilidad intrapoblacional con la baja diferenciación entre poblaciones geográficamente aisladas en diferentes macizos montañosos, hecho explicado tanto por una aún reciente fragmentación postglacial del área de distribución del pino silvestre, mucho más extensa y continua a cotas más bajas del interior de la Península, como también por el flujo de polen sobre distancias considerables (Robledo-Arnuncio *et al.*, 2005).

I.2. TIPOLOGÍA DE LOS PINARES ALBARES

La falta de consenso entre los botánicos sobre el origen y el papel que juegan muchos pinares albares en el paisaje vegetal, y su ausencia en muchos casos en los esquemas sintaxonómicos, dificulta la utilización de una clasificación puramente fitosociológica, que obligaría a incluir una extensa discusión sobre el tema como la recogida por Martínez y Montero (2001). Siguiendo un criterio biogeográfico los pinares albares ibéricos se pueden dividir en tres grupos (Costa *et al.*, 1997): eurosiberianos, submediterráneos y mediterráneos; a los que habría que añadir los pinares de repoblación. (Fig I.1 y I.2).

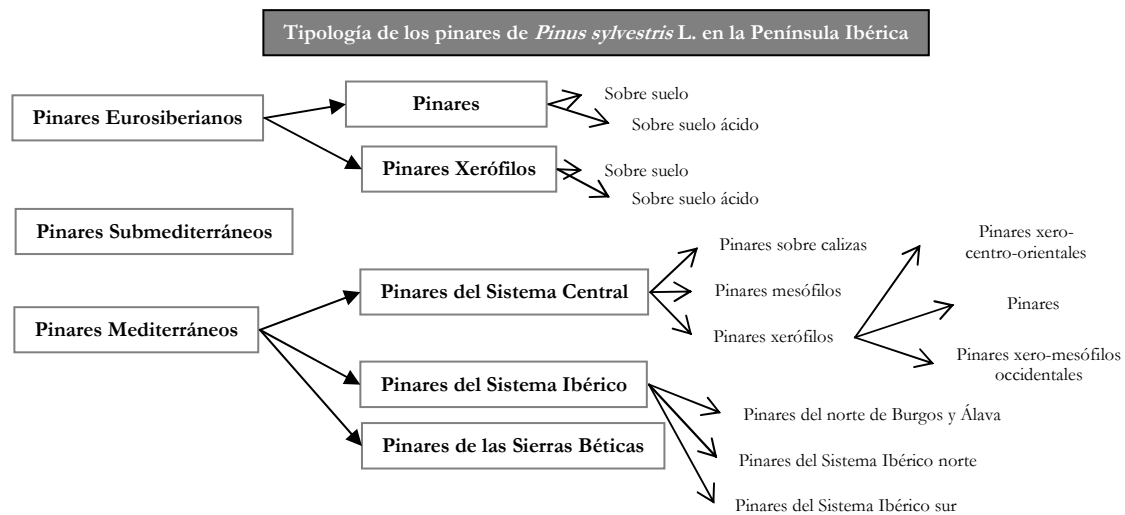


Figura I.1: Tipología de masas de *Pinus sylvestris* en la Península Ibérica (Costa *et al.*, 1997).

I.2.1. Pinares eurosiberianos

Los pinares montanos pirenaicos constituyen el núcleo más extenso de los presentes en la Península Ibérica. Dentro de este grupo se incluyen también los pequeños enclaves de pinar albar del noroeste de la Península Ibérica y vertiente sur de la Cordillera Cantábrica. La mayoría se encuentran en la vertiente sur pirenaica debido a su mayor continentalidad y luminosidad, en altitudes comprendidas entre los 1.000 y 1.700 m.,

fundamentalmente sobre sustratos calizos (Martínez y Montero, 2001). Dentro de este grupo se pueden distinguir dos tipos de pinares albares, los mesófilos o de umbría y los xerófilos o de solana (Dupias, 1985; Vigo y Ninot, 1987; Costa *et al.*, 1997).

□ *Pinares mesófilos.*

Corresponden a las zonas más húmedas de su área de distribución, ocupando la mayor parte del piso montano pirenaico. Comparten piso con hayedos y abetales, con los que se mezcla en numerosas situaciones transicionales, así como con pinares de pino negro (*Pinus uncinata* Miller) en las zonas más altas. Ocupan superficies considerables en la vertiente sur de Pirineos entre los 1000 y 1700 m, dejando paso a robledales y hayedos en los extremos este y oeste de la cordillera donde hay una mayor influencia oceánica. Los pinares mesófilos constituyen por lo general masas densas, con árboles de fustes rectos y elevados.

Este tipo se puede dividir a su vez según el sustrato sobre el que se asienta:

- a) Sustrato básico, estos pinares se mezclan en situaciones transicionales con hayas e incluso quejigos (*Quercus faginea* Lam) y en las zonas más húmedas con fresnos (*Fraxinus excelsior* L.).
- b) Sustrato ácido, son los denominados “pinares musgosos”, y forman localmente bosques de transición con abeto, hayas y robles (*Quercus petraea* Liebl.).

□ *Pinares xerófilos*

Estas masas se encuentran exclusivamente en la vertiente meridional del piso montano, en solanas y zonas muy venteadas, entre los 1.500 y 1.800 m. La principal diferencia con los anteriores es la ausencia en el sotobosque de especies montanas de hayedos y abetales, y del estrato de musgos en el caso de los pinares mesófilos sobre suelo ácido. Son pinares menos densos y con árboles de peor porte que los de los pinares mesófilos. Como en el caso anterior, se distinguen dos variantes según el sustrato:

- a) Sustrato básico: zonas más secas y continentales del piso montano en el Pirineo central, pinares acompañados de boj (*Buxus sempervirens* L.), enebro (*Juniperus communis* L.) y, casi siempre, erizón (*Genista horrida* (Vahl) D.C. = *Echinopartum horridum* Rothm.).
- b) Sustrato ácido: zonas de mayor continentalidad de la parte oriental de Pirineos. Se mezcla frecuentemente con abedules (*Betula pendula* Roth.), abetos y robles (*Quercus petraea*). Como plantas características aparecen *Juniperus communis*, *Veronica officinalis* L., *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin., entrando fácilmente vegetales heliófilos de la serie de degradación, como *Cytisus oromediterraneus* Riv. Mart. & al.

1.2.2. Pinares submediterráneos

Por debajo de los 1000 m y sobre todo en la vertiente sur de Pirineos y sobre sustratos calizos, se encuentran los pinares submediterráneos, que según diversos autores, presentan un marcado carácter serial (Dupias, 1985; Costa *et al.*, 1997). En este piso el pino silvestre se mezcla frecuentemente con quejigos (*Quercus faginea* Lam., *Q. pubescens* Willd.) y otros pinos (*Pinus nigra* Arnold, *P. pinaster* Aiton), e incluso *P. halepensis* Millar y encina (*Quercus ilex* L. subesp. *ballota*) en el extremo oriental del Pirineo. En los peores suelos puede formar masas puras estables aunque frecuentemente

aparece favorecido por el hombre. Su fisionomía es similar a los pinares eurosiberianos mesófilos, con los que mantiene una transición gradual.

1.2.3. Pinares mediterráneos

Pinus sylvestris es la principal especie forestal en las altitudes elevadas de gran parte de los sistemas montañosos de la Iberia mediterránea. Estos pinares se caracterizan por soportar una sequía estival mucho más marcada que los tipos anteriores. Fitogeográficamente se pueden distinguir tres grupos de pinares mediterráneos (Costa *et al.*, 1997):

I. Pinares del Sistema Central

Los pinares de silvestre se extienden en el Sistema Central desde los 1.200-1.400 hasta más de 2000 m de altitud, encontrándose la mayoría de ellos en la Sierra de Guadarrama. Con excepción de los pinares de la Mesa de Campisábalos y de la Sierra de Pela, que se desarrollan sobre calizas superficiales y con escaso desarrollo edáfico, el resto vive sobre sustratos ácidos (Martínez y Montero, 2001). Así, mientras los pinares calcícolas se definen fisionómicamente como “pinares con enebro (*Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica*)” y se encuentran en altitudes entre los 1.300 y 1.500 m., los pinares silicícolas se pueden dividir en (Martínez y Montero, 2001):

□ *Pinares mesófilos*

Localizados en las zonas bajas y medias, preferentemente entre algo menos de 1.300 m y los 1.600 m, (superando esta cota en algunos enclaves), en áreas de suelos profundos, normalmente poco pedregosos, con nulos o bajos afloramientos rocosos. Se trata de pinares densos, con árboles bien desarrollados y productividad elevada (algo menor en la Sierra del Alto Rey que en las sierras de Guadarrama y Gredos). Sus especies indicadoras son *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. subsp. *aquilinum* y *Genista florida* L. subsp. *florida*.

Además de estos pinares propiamente mesófilos, se puede diferenciar otro grupo, los pinares meso-xerófilos orientales, situados en las laderas norte de la Sierra de Alto Rey en una franja altitudinal que va desde los 1.350 a los 1.600 m aproximadamente, sobre sustratos desarrollados a partir de cuarcitas y pizarras, en suelos de pedregosidad media y alta. Estos pinares se caracterizan por la abundancia de ericáceas: brezos (*Erica arborea* L. y *Erica australis* L.), junto con la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel) y la brecina (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.), consecuencia del tipo de roca sobre el que se desarrollan, pizarras y cuarcitas, éstas últimas generadoras de suelos muy pobres. También es relevante la importante presencia y el papel que juegan en la estructura especies como *Cistus laurifolius* L. y *Juniperus communis* subsp. *hemisphaerica*.

□ *Pinares xerófilos*

Dentro de este grupo se incluyen los pinares que se extienden sobre sustratos pedregosos y suelos de escaso desarrollo, tanto pinares en cotas altas (pinares orófilos) como en zonas bajas y medias de la franja altitudinal (pinares xero-termófilos centro-orientales y pinares xero-mesófilos occidentales), dominando las orientaciones meridionales. Estos pinares presentan menor densidad y productividad que los anteriores, cumpliendo una importante función protectora.

- a) Los pinares orófilos se extienden a partir de los 1.600 m y hasta las cotas más altas, en la Sierra de Guadarrama y puntualmente en las sierras de Gredos y Alto Rey. Entre las especies características destacan *Cytisus oromediterraneus*, *Deschampsia flexuosa* subesp. *iberica* y *Juniperus communis* subesp. *alpina*.
- b) Los pinares xero-termófilos centro-orientales se sitúan en las zonas bajas y medias de las sierras de Guadarrama y Alto Rey (1.300-1.700 m), preferentemente en exposiciones sur. Del conjunto de especies preferenciales destacan: *Genista cinerascens*, *Cistus laurifolius*, *Halimium umbellatum* (L.) Apach. subesp. *viscosum*, *Mycropyrum tenellum* (L.) Link., *Lavandula stoechas* L. subesp. *pedunculata*, *Avenula sulcata* (Gay ex Boiss.) Dumort subesp. *sulcata*, *Hieracium castellanum* Boiss. et Reuter etc.
- c) Los pinares xero-mesófilos occidentales se encuentran en la cara norte de la Sierra de Gredos entre los 1.400 y cerca de los 1.600 m de altitud, en un área compuesta por rocas de naturaleza ácida. Están caracterizados frente a los pinares xero-termófilos, por *Festuca elegans* Boiss. Entre las especies preferenciales destacan *Cytisus scoparius* (L.) Link subesp. *scoparius* y *Santolina rosmarinifolia* L. subesp. *rosmarinifolia*.

II. Pinares del Sistema Ibérico

En este sistema se encuentran diferenciadas varias poblaciones de pino albar:

- a) Pinares del norte de Burgos y Álava: aparecen sobre sustratos básicos en altitudes entre los 600-700 m y los 1.100 m. Son masas naturales a las que se atribuye en algunos casos un carácter climácico, aunque generalmente se les da un carácter serial de distintos tipos bosques de frondosas: quejigares, hayedos y melojares (Catón Santarén y Uribe-Echebarría, 1980; Aseguinolaza *et al.*, 1989).
- b) Pinares del Sistema Ibérico norte: ocupan una banda altitudinal entre los 1.000 y 1900 m, sobre sustratos ácidos, principalmente areniscas. El límite inferior del área potencial en esta zona varía entre los 1.200 y 1.700 m según sitios y autores. Se mezcla con frecuencia con *Fagus sylvatica* L., que sustituye a menudo al pino silvestre en las vertientes septentrionales, y en su límite inferior con *Quercus pyrenaica* y *Q. faginea*. En las zonas más elevadas constituye pinares abiertos con estrato inferior de sabina rastrera (*Juniperus sabina* L.). En altitudes inferiores forma masas densas, en muchos casos de elevada productividad y valor paisajístico.
- c) Pinares del Sistema Ibérico sur, montañas ibérico-levantinas y costero-catalanas: altitudes entre los 1.400 y 1.700 m, dominan los sustratos básicos en el Maestrazgo y serranía de Cuenca y ácidos en el resto. Con frecuencia se mezcla con *Pinus nigra*, que aparece en muchos casos en los afloramientos rocosos más soleados, así como con sabina rastrera en las zonas altas.

III. Pinares de las Sierras Béticas

Se encuentran sobre sustratos calcáreo-dolomíticos y metamórficos, en vaguadas frescas y umbrías de Sierra Nevada y Sierra de Baza. Constituyen masas abiertas de gran interés protector y de conservación por su significado biogeográfico o paleobiogeográfico y geobotánico.

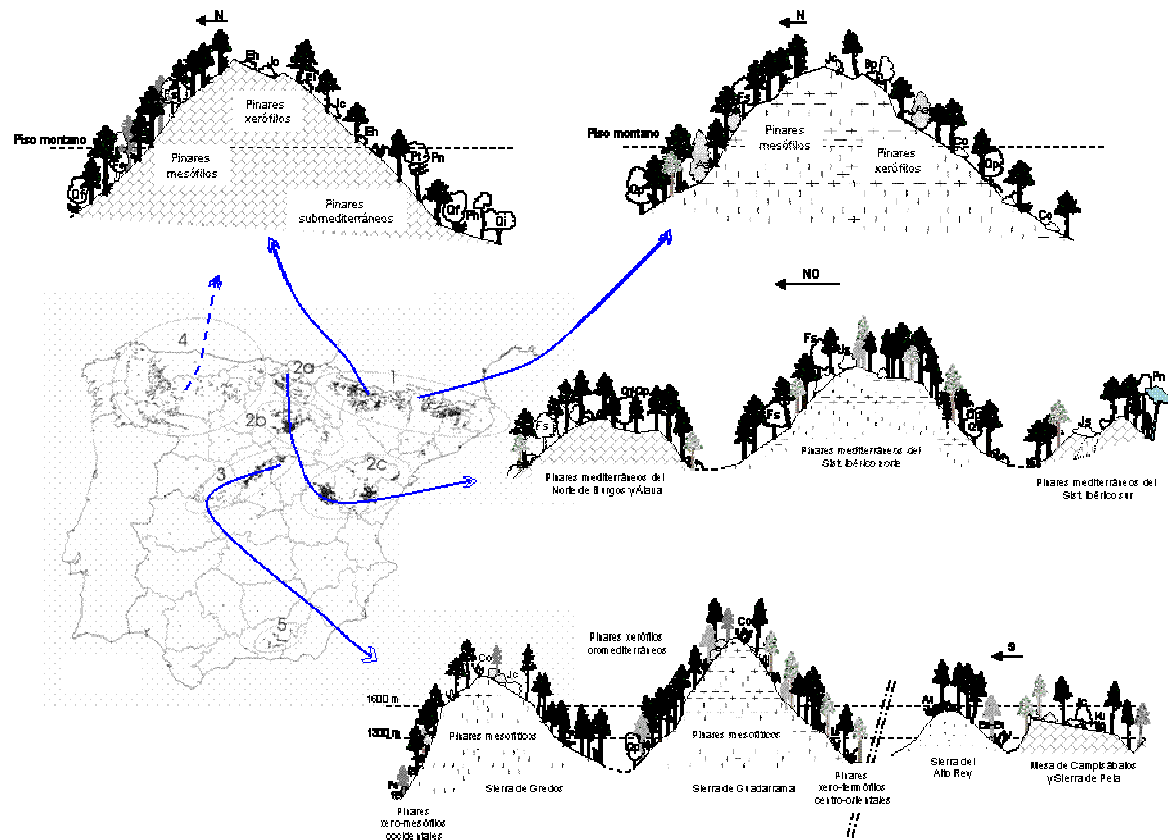


Fig I.2: Esquema de la vegetación presente en la tipología estudiada de pinares de *Pinus sylvestris* en la Península Ibérica.

1.2.4. Repoblaciones

Según los datos de anuarios de estadísticas agrarias, en el periodo de 1941 a 1996 se realizaron en España, promovidas por la administración, repoblaciones con *Pinus sylvestris* como especie principal en un total de 529948 ha (Figura I.3). A estos datos habría que añadir las repoblaciones del periodo 1988/1991, del que no se dispone de datos, las 261.475 ha estimadas que se repoblaron hasta 1940 por las Divisiones Hidrológico Forestales, y las 29.073 ha repobladas a en el programa de reforestación de tierras agrícolas (Reglamento 2080/92) durante el periodo 1993/1999.

Desde el inicio del programa de reforestación de tierras agrarias hasta octubre de 1999 (Fuente datos: Ministerio Agricultura), se ha utilizado el pino silvestre dentro de este programa en masas puras o mezcladas con otras coníferas o con frondosas, tal y como se indica en la figura I.4. Las masas puras de pino silvestre se han establecido en 11675 ha, de las cuales, el 96 % están situadas en Castilla y León. En lo referente a masas mezcladas con otras coníferas (13.563 ha), destacan las combinaciones con *Pinus pinaster* y las de *Pinus uncinata* (con un 35,8 % del total). En el caso de las 3.835 ha repobladas con mezclas de pino silvestre y frondosas, domina la combinación con *Quercus pyrenaica*, que en Castilla y León supone el 81 % del total de hectáreas de masas mixtas de silvestre y frondosas.

Superficie repoblada con *Pinus sylvestris* en España
(1941/1999)

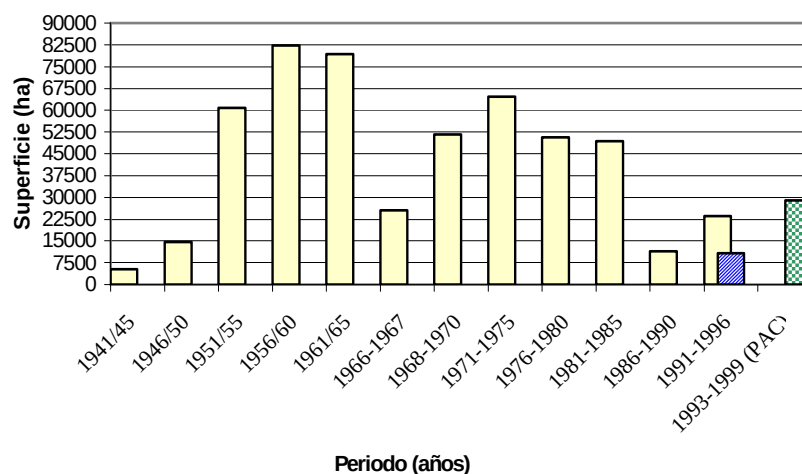


Figura I.3: Evolución de la superficie repoblada con *Pinus sylvestris* en España durante el periodo 1941/1999.

- * Sin datos en el periodo 1988/1991.
- * La columna rayada son repoblaciones catalogadas como productoras por la administración
- * El resto de datos se consideran repoblaciones protectoras.
- * La última columna son las hectáreas repobladas en el programa de reforestación de tierras agrícolas (Reglamento 2080/92).

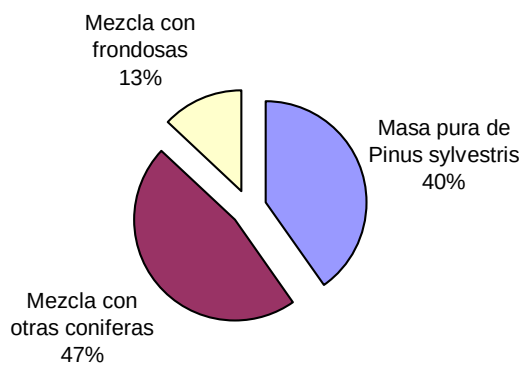


Figura I.4: Superficie repoblada con *Pinus sylvestris* en masas puras o mezcladas con otras especies en el programa de forestación de tierras agrícolas (Reg. 2080/92). Periodo 1993/1999. Fuente: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

II. REGENERACIÓN Y TRATAMIENTOS DE REGENERACIÓN

II.1. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA REGENERACIÓN NATURAL

□ Disponibilidad de semillas

El pino silvestre florece de mayo a junio y la fecundación tiene lugar en la primavera siguiente. Los piñones maduran al año siguiente de la floración y diseminan en otoño hasta mediados de primavera según la climatología del año, especialmente entre diciembre y marzo (Ruíz de la Torre y Ceballos, 1979).

La época de floración parece que está muy relacionada con la temperatura, habiéndose encontrado en diferentes regiones de Europa (Finlandia, Turquía y Hungría) que la floración se produce cuando se alcanza un 17% de los grados-día anuales (suma de las diferencias diarias entre la temperatura media y un valor umbral, generalmente 5°C), con un 6% de variación (Sarvas, 1967; Koski, 1991, ambos en González-Martínez y Bravo, 1999). El polen puede dispersarse a gran distancia, aunque según Koski (1970, en González-Martínez y Bravo, 1999) el 50% del polen no se desplaza a más de 50 m del árbol. Esto implica una elevada tasa de autopolinización, entre un 5-20% (Booth, 1984; Koski, 1991; ambos en González-Martínez y Bravo, 1999), por lo que parece conveniente dejar un número suficiente de árboles padre. No obstante, la presencia de poliembrionia reduce el problema de la autopolinización. Por otra parte, estudios recientes de dispersión genética en masas del género *Pinus* constatan que sólo un reducido número de individuos tienen como árbol padre al árbol más cercano (Yazdahi et al, 1989, en González-Martínez y Bravo, 1999; González-Martínez, 2001).

Pinus sylvestris produce gran cantidad de semilla a partir de los 40 años si crece en espesura y a partir de los 25-30 años en árboles aislados. Posee un marcado carácter vecero, produciendo las fructificaciones más abundantes con una periodicidad de varios años: aproximadamente de cada siete años, dos suelen ser buenos (con una alternancia de dos a cinco años), otros dos intermedios y los tres restantes malos, siendo rara la pérdida total de semilla (Ruíz de la Torre y Ceballos, 1979). En otros países las vecerías encontradas son de dos a tres años en Italia (Bernetti, 1995), tres a cinco años en Bélgica (Boudru, 1989), y uno a cinco en Alemania (Rohmeder, 1972, en Burschel y Huss, 1997).

Rohmeder (1972, en Burschel y Huss, 1997) indica que el pino silvestre, al tener una semilla ligera, disemina un 50% bajo la copa, un 40% en la distancia de dos a cuatro veces la altura del árbol y el resto más lejos, siendo aconsejables distancias de las zonas en regeneración al arbolado adulto de hasta 50 m. En Escocia, Booth (1984, en González-Martínez y Bravo, 1999) da una distancia máxima de 500 m, indicando que entre el 30 y el 75% de las semillas no superan los 18 m.

□ Germinación y primer desarrollo

En esta primera fase de desarrollo, uno de los aspectos que más condiciona la regeneración de los pinares albares, especialmente de los mediterráneos, es la sequía estival unida a las elevadas temperaturas veraniegas, siendo este punto de menor importancia en los pinares eurosiberianos y submediterráneos. Bajo climas mediterráneos, para conseguir un buen regenerado es necesario que coincida un año de

buena cosecha de semilla, al ser el silvestre un pino vecero, con un verano no muy seco (Rojo y Montero, 1996). Esta coincidencia no es muy frecuente en zonas como el Sistema Central, por lo que puede ser conveniente elegir un periodo de regeneración flexible que permita alargar el plazo de regeneración en función de las condiciones meteorológicas.

Las características del suelo revisten vital importancia para la germinación y supervivencia de los brinzales, agudizando en muchos casos el efecto de la sequía estival. En los pinares de silvestre en regeneración suele ser un problema frecuente la acumulación de materia orgánica fresca en la capa superficial del suelo. El elevado contenido de materia orgánica fresca y la porosidad de esta capa hacen que se transmita mal el calor, provocando elevadas temperaturas en esta capa superior durante el verano, lo que unido a la escasa capacidad de retención de agua, provoca una elevada mortandad de los brinzales durante esta estación, especialmente en climas mediterráneos con sequías estivales acusadas (Montero, 1987; Pardos *et al.*, 2005). No obstante, esta capa tiene efectos positivos, como disminuir la evaporación y amortiguar la oscilación térmica de las capas inferiores del suelo, y evitar el apelmazamiento, la erosión y la escorrentía, por lo que no se debe eliminar en grandes superficies. En varios estudios sobre la regeneración del pino silvestre en el Sistema Central se da como espesor adecuado del mantillo entre 4 y 7 cm (Morillo, 1987; Rubio, 1987; Santos, 1987). Por otra parte, el espesor de mantillo está directamente relacionado con la mayor o menor cantidad de radiación solar que llega al suelo, que condiciona una rápida o lenta mineralización de estos restos vegetales.

La luz es un factor determinante en la germinación y primer desarrollo de los regenerados de *Pinus sylvestris*, pudiéndose decir que humedad, calor y luz son los principales condicionantes de su regeneración. El pino albar es una especie de temperamento intolerante en la mayor parte de su área de distribución mundial, por lo que su dinámica natural está condicionada por perturbaciones fuertes que creen rasos donde pueda regenerarse. Sin embargo, en las masas más meridionales se comporta como especie de media sombra. De este modo, la regeneración de los pinares de silvestre de la Península Ibérica se ve favorecida por una ligera cubierta en las primeras edades y por exposiciones de umbría, hecho constatado por numerosos autores (Villacampa, 1868; Laguna y Avila, 1883; González Vázquez, 1926, 1945, 1948; Ruiz de la Torre y Ceballos, 1979; Rubio, 1987; Morillo, 1987; Santos, 1987). Esta tendencia es menos acusada en los pinares eurosiberianos, donde el pino silvestre aparece fundamentalmente en solanas (Ruiz de la Torre y Ceballos, 1979). A pesar de la importancia de la luz en la regeneración, son escasos los trabajos que han abordado este tema. Roussel (1972) y Rojo (1977) indican como radiación óptima para la germinación un 35% y para el crecimiento un 100% de la radiación solar existente a cielo abierto. Estudiando la radiación bajo distintos pinares Campo y Peña (1922) encontraron que debajo de ejemplares de *Pinus sylvestris* de 80 a 100 años, con copas grandes, había un 70% de la luz a cielo abierto; y bajo masas cerradas o poco aclaradas, de 120 años y copas deformadas, se reducía a un 32%. Estas cifras fundamentan la elección del método selvícola a desarrollar en los pinares de silvestre en regeneración.

Por último, la competencia interespecífica también condiciona esta primera fase del regenerado. Un problema habitual en los rodales en regeneración de pino silvestre es el empradecimiento. La cubierta herbácea, muchas veces pastos herbáceos densos creados por el ganado, dificulta la regeneración del pinar al actuar como barrera física impidiendo que la radícula de los brinzales alcance la tierra y al competir por los recursos limitantes (Montero, 1987). En zonas empradizadas la solución consiste en

realizar un laboreo que permita poner en contacto las semillas con el suelo mineral (Montero, 1987; Oosterbaan, 1994; Rojo y Montero, 1996). Otras especies intervienen inhibiendo la germinación mediante sustancias alelopáticas, como algunas ericáceas (Ballester *et al*, 1982; Carballeira, 1980, ambos en González-Martínez y Bravo, 1999), frecuentes en muchos pinares de silvestre.

□ *Establecimiento*

Durante la fase de establecimiento del regenerado toma especial relevancia la competencia, tanto inter como intraespecífica. Dentro de la competencia interespecífica la vegetación herbácea condiciona en mayor medida el primer desarrollo de las plántulas, pero también juega un papel importante durante el establecimiento al competir por los recursos hídricos y nutricionales. La vegetación leñosa compite además por el espacio, produciendo en algunos casos mortalidad por ahogado de los brinzales. En estudios de regeneración en pino silvestre se ha constatado que la presencia de ciertas especies de matorral se encuentra relacionada con una buena o mala regeneración de los pinares de silvestre. Así, zonas con muchas retamas (*Sarothamnus scoparius* (L.) Wimmer ex Koch), genistas (*Genista florida*), zarzas (*Rubus* sp.) o rebollo (*Quercus pyrenaica*), son indicadoras de escasa regeneración (Morillo, 1987; Rubio, 1987; Santos, 1987).

Son muchas las variables que condicionan las relaciones de competencia entre las distintas especies forestales, favoreciendo el establecimiento de una u otra especie. Entre los factores más importantes se encuentran el temperamento y el patrón de crecimiento en altura, y con menor importancia la edad y la densidad del regenerado (Oliver y Larson, 1996). Como se ha mencionado al describir los diferentes tipos de pinares albares, en las zonas de transición de su área de distribución se mezcla, y por lo tanto compite, con diferentes especies. De este modo, son frecuentes problemas en la regeneración por competencia con rebollo (*Quercus pyrenaica*), quejigo (*Q. faginea*) y haya (*Fagus sylvatica*) (Donés *et al*, 1994; García-Abril *et al*, 1994; González-Martínez y Bravo, 1997).

La competencia intraespecífica se produce tanto con el arbolado adulto residual como entre los propios individuos que componen el regenerado. En estudios realizados en masas de *Pinus sylvestris* en Finlandia encontraron un gradiente de influencia del árbol adulto en el crecimiento y supervivencia del regenerado (Pukkala, 1987; Kuuluvainen *et al*, 1993; Niemistö *et al*, 1994, todos en González-Martínez y Bravo, 1999). En los primeros metros alrededor del árbol adulto se producen menores crecimientos y probabilidades de supervivencia, llegando en algunos casos a un 30-40% menos en número de brinzales en los 10 primeros metros. En las masas de la vertiente norte del Sistema Central se ha observado otro comportamiento, requiriendo los brinzales cierta protección en las primeras edades, aunque posteriormente la competencia de los árboles padre puede inhibir el desarrollo posterior del regenerado (Montes, 2004). Con respecto a la competencia entre el regenerado, toma importancia cuando se han conseguido densidades elevadas, ya que puede reducir el crecimiento inicial de los árboles y provocar mayores daños y deformaciones por nieve (Carvalho, 1985; Valinger *et al*, 1995).

Finalmente, no se puede hablar de los factores que condicionan la regeneración sin mencionar el problema del pastoreo. En gran parte de los montes españoles de *Pinus sylvestris* el ganado pasta libremente y es frecuente que no exista ninguna ordenación del pastoreo que regule la distribución de la carga ganadera en tiempo y espacio, por lo

que son habituales las cargas excesivas que ocasionan problemas en el regenerado en las zonas de mayor incidencia del ganado (descansaderos y bebederos). Los daños se producen tanto por pisoteo y arranque de plántulas mientras se alimenta de otras especies, como por pastoreo directo en las épocas de escasez o baja calidad de pasto herbáceo. Las consecuencias son una menor densidad del regenerado, así como deformaciones y falta de vigor de las plántulas.

II.2. TRATAMIENTOS GENERALES

Teniendo presentes los principales factores que afectan a la regeneración natural de *Pinus sylvestris*, los aclareos sucesivos en sus distintas modalidades son generalmente los métodos de regeneración que mejor se adaptan a la especie. La mencionada necesidad de una ligera cubierta para la instalación y primer desarrollo de los brinzales de pino silvestre en ámbitos mediterráneos, especialmente en las orientaciones sur, sureste y sur-oeste, obliga a mantener parte de la masa adulta durante esta fase de la regeneración, para posteriormente poner en luz el regenerado en la fase de establecimiento y eliminar la competencia con el arbolado adulto. Este esquema de cortas se puede realizar con mayor o menor intensidad en función de las características de la estación y de la masa, desde una corta a hecho en dos tiempos hasta aclareos sucesivos uniformes en más de cinco fases. Consecuentemente, la estructura de los pinares albares varía de regular a semirregular.

En la mayor parte de los estudios que han abordado el tema de la regeneración del pino albar en España se indica como método más adecuado el método de los aclareos sucesivos (Laguna y Ávila, 1883; González Vázquez, 1945; Martínez de Pisón, 1948; Sainz Margareto, 1953, 1963; Rojo y Montero, 1996). Sin embargo, en muchas ordenaciones de montes de pino silvestre realizadas a finales del siglo XIX y principios del siglo XX en las que se aplicó este método, fracasó el método por una incorrecta aplicación, lo que posteriormente conllevó a la elección de otros métodos. La principal causa de la defectuosa ejecución fue “el miedo a cortar” debido a la falta de conocimiento de la espesura adecuada para conseguir la regeneración, por lo que se cortaba menos de lo necesario por temor a no regenerar los tramos (Martínez de Pisón, 1948).

Una de las principales dificultades de la aplicación de los aclareos sucesivos es el desconocimiento de la espesura exacta hacia la que hay que conducir la masa en las diferentes fases del método para conseguir una adecuada regeneración. Por otra parte, es casi imposible sistematizar y generalizar la aplicación de las distintas fases debido a la distinta respuesta en función de la estructura de la masa adulta y de la estación (incluso microestaciones), y a que a su vez, la ejecución de una fase depende en parte de los resultados obtenidos en la anterior. De este modo, en un mismo rodal o cantón puede haber zonas en las que casi se ha logrado la regeneración, asemejando una masa en la que ya se han hecho cortas aclaratorias, mientras que en otras ni se ha iniciado, presentando aspecto de una masa en la que se han hecho cortas preparatorias (Montero, 1987). Como consecuencia, a veces se aplican las denominadas cortas a “la esperilla”, en las que se espera a obtener un buen regenerado para intervenir en la masa adulta.

Dentro de los aclareos sucesivos el tratamiento más habitualmente aplicado es el aclareo sucesivo uniforme, en parte debido a su sencillez en el reparto en el espacio y el tiempo y al menor costo económico, siendo el tratamiento más lógico para aquellas masas con un objetivo principal productor o productor-protector con pocas restricciones. Sin embargo, en determinadas circunstancias pueden ser más apropiados

métodos que lleven la masa hacia una mayor semirregularidad, como son los aclareos sucesivos por bosquetes o por fajas. Este tipo de tratamientos conllevan una gestión más cuidadosa y costosa que los aclareos sucesivos uniformes, por lo serán adecuados en rodales con un alto valor protector, paisajístico o de conservación de la biodiversidad que justifiquen esta mayor inversión. Las cortas semicontinuas también serán aconsejables para aquellas estaciones en las que el pino albar se comporta como especie menos heliófila, ya que se adaptan mejor a temperamentos delicados al ofrecer una mayor protección del regenerado. A su vez, con este método se alarga el periodo de regeneración reduciendo los problemas que pueden ocasionar la vecería de la especie y la ausencia de precipitaciones estivales. Otra situación en la que son adecuadas las cortas semicontinuas es cuando se quiere conseguir la regeneración de pinares de silvestre mixtos o cuando se quiere favorecer la presencia de otras especies, ya que al graduarse la luz a lo largo del tiempo y el espacio se facilita la regeneración de especies con distintos temperamentos.

Una situación diferente es la de los rodales de escasa espesura de elevadas altitudes, generalmente pinares xerófilos, donde no son aplicables los aclareos sucesivos al encontrarse la masa suficientemente aclarada y, sin embargo, no se consigue la regeneración. En estas zonas el limitante no está en la luz, sino en los suelos pobres o en la competencia herbácea o arbustiva. La mayoría de estas zonas son rodales protectores y la única solución consiste en recurrir a la regeneración artificial.

Otro tratamiento de regeneración que se aplica a menudo en los pinares albares es la corta a hecho, generalmente acompañadas de labores de ayuda a la regeneración, generalmente preparación del suelo y siembra. Las cortas a hecho en grandes superficies requieren una intensa preparación del suelo para conseguir una adecuada regeneración, fundamentalmente debido a la necesidad de una ligera cubierta para la instalación y primer desarrollo de las plántulas, especialmente en las exposiciones sur (Rojo y Montero, 1996). Por otra parte, las cortas a hecho presentan otra serie de inconvenientes que limitan su aplicación generalizada, como el mayor riesgo de erosión, impacto paisajístico, etc. Sin embargo, otros usos parecen no verse afectados por este tratamiento, como la producción de hongos. Según un seguimiento de cinco años realizado en Pinar Grande (Soria) en zonas regeneradas mediante cortas a hecho y que hoy cuentan con 16-50 años se han encontrado carpóforos de *Bolletus edulis* Bull.:Fr., lo que indica que sobrevive a la corta o que presenta estrategias de dispersión muy efectivas (Martínez, 2003). No obstante, el aclareo sucesivo parece a priori más adecuado para compatibilizar con la producción de hongos, ya que el mantenimiento de masa adulta en pie permitiría un mayor número de micorrizas disponibles para colonizar el regenerado, aunque el pisoteo, los arrastre y la maquinaria asociados a las cortas intermedias pueden tener efectos negativos prolongados (Wästerlund, 1994, Egli y Ayer, 1997, ambos en Martínez, 2003).

Otra alternativa son las cortas a hecho por fajas y por bosquetes, que se adaptan mejor al temperamento de la especie en la Península Ibérica. No obstante, en las pocas experiencias realizadas con este tipo de métodos no se han conseguido grades éxitos de regenerado. Por ejemplo, en el monte “Santa Inés” (Soria) se realizaron cortas a hecho por fajas, pero finalmente ante la falta de regenerado hubo que recurrir a laboreo y siembra artificial (Menéndez de la Vega, 1966). En el monte “Pinar de Valsaín” (Segovia) se realizó una experiencia de cortas a hecho por bosquetes de 0,25 a 0,5 ha con el fin de conseguir un regenerado más homogéneo que con los aclareos sucesivos uniformes y abaratar los costes de la explotación, obteniéndose resultados poco satisfactorios (Donés *et al.*, 1994)

La corta a hecho de grandes superficies se empezó a utilizar en masas de *Pinus sylvestris* en España a partir de los años 60: montes “Pinar Grande”, “Covaleda”, “Santa Inés”, etc. en Soria; “Grupo ordenado de Bronchales” etc. en Teruel. Las cortas a hecho junto con laboreo y siembra (de tres a cinco Kg. de semilla por ha) se siguen empleando hoy en día en la provincia de Soria con el fin de abaratar costes y facilitar el movimiento de la maquinaria (Hernández y Montero, 1993).

En masas con vocación protectora y/o en las que se quiera favorecer la biodiversidad, puede resultar conveniente mantener durante el siguiente turno un determinado número de pies por hectárea (masas con reserva). Esta medida genera una estructura más compleja que ayuda a mantener los procesos biológicos y el valor estético de las masas, favoreciendo la conservación de la biodiversidad (Franklin *et al*, 1997, en Valkonen, 2000). Valkonen (2000) realiza una revisión sobre los efectos de reserva de pies en masas de pino silvestre, indicando un menor crecimiento de las raíces, diámetro y altura del regenerado en función de la distancia al árbol adulto. Teniendo en cuenta estos resultados, se aconseja mantener estos árboles de reserva en pequeños grupos.

En otras regiones más septentrionales del área distribución del pino silvestre donde la especie tiene un temperamento más heliófilo se aplican con frecuencia cortas a hecho en sus distintas modalidades especialmente en masas particulares debido a los menores costes con este método, muchas veces seguidas de plantación (Boudru, 1989; Burschel y Huss, 1997, Egnell, 2000, Mason, 2000). No obstante, existe una tendencia a remplazarlas por aclareos sucesivos, que normalmente se ejecutan en menos años y con menos fases. Boudru (1989) propone para Bélgica un aclareo sucesivo uniforme en dos tiempos, con una corta diseminatoria muy fuerte y una aclaratoria final tras 2 o 3 años, y aclareos sucesivos por fajas o por bosquetes con introducción de especies cuando se quiere favorecer las masas mixtas (normalmente en repoblaciones). Por otra parte, Mason (2000) indica que la diferencia entre las cortas a hecho en dos tiempos y los aclareos sucesivos que se practican en algunos montes privados de Escocia radican sólo en el número de pies, 25-50 pies/ha y 100-150 pies/ha respectivamente, ya que ambas son cortas en dos fases.

III. TRATAMIENTOS CULTURALES

III.1. LIMPIAS

Una vez conseguida la regeneración, uno de los factores que más condiciona el establecimiento y crecimiento del regenerado de *Pinus sylvestris* es la competencia, tanto inter- como intra-específica. En España, en las masas procedentes de regeneración natural, generalmente tratadas mediante cortas de aclareos sucesivos, se aplican los llamados desbroces de regeneración. Estos desbroces buscan favorecer el desarrollo de las plantitas que se van instalando a lo largo del período de regeneración fijado en la ordenación, generalmente 20 años, mediante la eliminación de la vegetación competidora. Frecuentemente suelen ir acompañados de ligeros clareos y en ocasiones podas en los mejores pies, que se realizan simultáneamente a la recogida y eliminación de los restos producidos en las cortas de regeneración.

En rodales regenerados tras cortas a hecho, con o sin reserva de árboles padres, no suelen hacerse limpieas, ya que los brinzales crecen en altas densidades y compiten

favorablemente con el matorral, que ha sido previamente eliminado en la preparación del suelo con el objeto de facilitar la germinación de las semillas. Entre los 10 y 15 años, dependiendo del desarrollo de las plantas, suelen hacerse desbroces o limpieas del matorral que haya podido instalarse, así como clareos. En masas procedentes de plantación pueden ser necesarios uno o más desbroces en función del desarrollo del matorral y del arbolado, que dependerán en gran medida de la estación y el espaciamiento inicial de la plantación.

III.2. CLAREOS

El comienzo de la competencia intraespecífica varía en función de la densidad y desarrollo del regenerado. En rodales procedentes de regeneración natural o de siembra son frecuentes las densidades elevadas, por lo que puede ser necesario realizar el primer clareo antes de los 10 años, aunque muchas veces se retrasan o no se efectúan según las disponibilidades económicas. En las repoblaciones y regenerados menos densos los clareos se realizan entre los 15 y 20 años, e incluso si el espaciamiento inicial es amplio (1500 pies/ha) se puede prescindir de esta intervención y esperar a que los productos sean comercializables para realizar la primera clara.

En estas primeras intervenciones además de extraer los individuos más débiles o dominados y malformados, es especialmente importante eliminar aquellos pies dominantes con copas excesivamente extensas y ramosas (árboles lobo), frecuentes en masas no muy densas de pino silvestre procedentes de regeneración natural. Estos individuos ejercen competencia a pies más jóvenes y más pequeños pero con mejor porvenir (Boudru, 1989, Burschel y Huss, 1997).

Un clareo exclusivamente selectivo sólo se justifica económicamente en las mejores calidades de estación con alta capacidad productiva de madera de calidad, y siempre debería ir acompañado de podas bajas. En zonas de escasa productividad los clareos se realizan por motivos de sanidad y prevención de incendios, pudiéndose recurrir a aquellos de tipo sistemático o mixto.

Cuando existe un riesgo elevado de daños por viento y nieve los clareos pueden garantizar la estabilidad futura de la masa. Durante la fase de monte bravo las masas de pino silvestre no intervenidas no son muy susceptibles a este tipo de daños, aumentando el riesgo cuando la esbeltez media es mayor a 70-80, cifra que se alcanza en la península Ibérica entre los 25-35 años variando en función de la calidad de estación y densidad de la masa (Río, 1999). La intervención mediante un clareo disminuye la densidad y elimina los individuos más susceptibles a este tipo de daños, retrasando o evitando el riesgo de daños en masas con espesuras elevadas y en buenas calidades de estación.

La selvicultura tradicional en masas de pino silvestre centroeuropeas se basaba en densidades iniciales elevadas con el fin de favorecer la poda natural y obtener madera libre de nudos, evitándose la realización de clareos. Actualmente se propone una selvicultura de mayores espaciamientos, en la que los clareos son necesarios, especialmente en los regenerados muy densos y en zonas con peligro de daños por nieve (Burschel y Huss, 1997). En los modelos selvícolas actuales se indican como

densidades adecuadas antes de la primera clara los 3000-4000 pies/ha. En la Tabla III.1 se presentan como ejemplo los claros propuestos por la Office National des Forêts (Ginisty *et al.*, 1996) en zonas llanas de Francia y por la administración forestal de Baden-Württemberg en Alemania (Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, 1997).

Tabla III.1: Propuestas de claros según las características de la masa

	<i>Ho</i>	<i>Regeneración natural</i>		<i>Repoblaciones</i>
		<i>Masa poco diferenciada</i>	<i>Masa diferenciada</i>	
LBW¹	1.5 m	Clareo sistemático	No intervenir	No intervenir
	5 m	Clareo sistemático a 3000-4000 pies/ha	Selección de 200 árboles Z /ha	Clareo si N>3000-4000 pies/ha
OFN²	0-3 m	2 o 3 claros / calles cada 6-10 m		Clareo si N>3500 pies/ha

¹ Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (1997)

² Office National des Forêts (Ginisty *et al.*, 1996)

III.3. CLARAS

En este apartado se analizan en primer lugar los principales aspectos que condicionan las claras en los pinares de silvestre, para posteriormente describir los regímenes de claras en función de la calidad de estación y el objetivo de la masa.

□ Factores condicionantes de las claras

Como corresponde a una especie de temperamento intolerante, el pino silvestre presenta un rápido crecimiento en sus fases juveniles, alcanzando su máximo crecimiento corriente en volumen entre los 40 y 50 años según calidades de estación. Esta distribución del crecimiento indica que las intervenciones más decisivas deben situarse en la primera mitad del turno, puesto que la capacidad de reacción a las claras de la masa principal es más acusada.

En el análisis de la red experimental de claras del CIFOR-INIA se ha abordado el estudio del crecimiento en volumen con los distintos tratamientos de claras mediante las áreas basimétricas óptima (la correspondiente a las parcelas testigo), máxima (la de mayor crecimiento en volumen) y crítica (aquella en la que se pierde un 5% de crecimiento en volumen con respecto al crecimiento del área basimétrica máxima) definidas por Assmann (1970). De acuerdo con los resultados de estas parcelas el área basimétrica crítica varía con la edad y la calidad de estación (Río, 1999; Montero *et al.*, 2000, Montero *et al.*, 2001a), situándose por encima del 90% a partir de los 60 años y por debajo del 80% sólo en edades inferiores a 45 años, llegando al 65% en las parcelas más jóvenes y de mejor calidad. Es decir, en las edades tempranas la reacción a la clara es buena y no se pierde apenas producción en volumen, mientras que en edades avanzadas, si las claras son moderadas o fuertes se pierde más de un 5% de crecimiento en volumen con respecto a las masas no intervenidas. Estas cifras coinciden con lo encontrado para esta especie en otras áreas geográficas (Erteld, 1960; Chroust, 1979; Kramer y Rös, 1989). En la figura III.1 se presenta un ejemplo de la variación del

crecimiento corriente en volumen con el área basimétrica residual en diferentes edades en uno de los sitios de ensayos de claras analizadas.

El efecto de las cortas en la producción total también se ha estudiado en el caso de cortas por huroneo en las que el criterio de corta es un diámetro mínimo, también llamadas claras selectivas (selective thinning) por algunos anglosajones. A pesar que hoy en día no se aplican este tipo de cortas, en algunas zonas de la península se han mantenido hasta hace años (Bravo, 1998). Utilizando un modelo de crecimiento basado en datos de las masas de pino silvestre en Alto Ebro, donde se habían aplicado huroneos en las últimas décadas, Bravo y Montero (2003) estiman que la aplicación de estas cortas supone una pérdida en volumen del 18% al final del turno.

Otro aspecto que condiciona la selvicultura de la especie es su baja resistencia a la acumulación de nieve en sus copas, que conlleva la rotura de fustes. En varios estudios que comparan la susceptibilidad a este tipo de daños en masas con distinta composición específica se concluye que los mayores daños se producen en masas monoespecíficas de coníferas, y dentro de las especies europeas, la mayor susceptibilidad se da en *Picea abies* L. seguida de *Pinus sylvestris* (Cremer *et al.*, 1983; Rottmann, 1985; Mangold y Spellmann, 1989; Polley, 1995). A pesar de que los riesgos de este tipo de daños en España no son excesivamente elevados, esporádicamente se producen fuertes nevadas que ocasionan daños importantes, como las grandes pérdidas que se dieron en el Sistema Central en el invierno de 1996 (Montero *et al.*, 1997).

Entre los factores que más influyen en la estabilidad de una masa frente a viento y nieve se encuentran la densidad de la masa y la esbeltez de los árboles, además de otras características del árbol individual como longitud de copa viva, asimetría, etc. La esbeltez media es considerada por numerosos autores como el mejor indicador de la estabilidad de una masa frente a viento y nieve (Cantiani, 1989; Cremer *et al.*, 1983; Vidulich, 1988; Slodicak, 1991). Para el pino silvestre se ha dado como esbeltez límite a

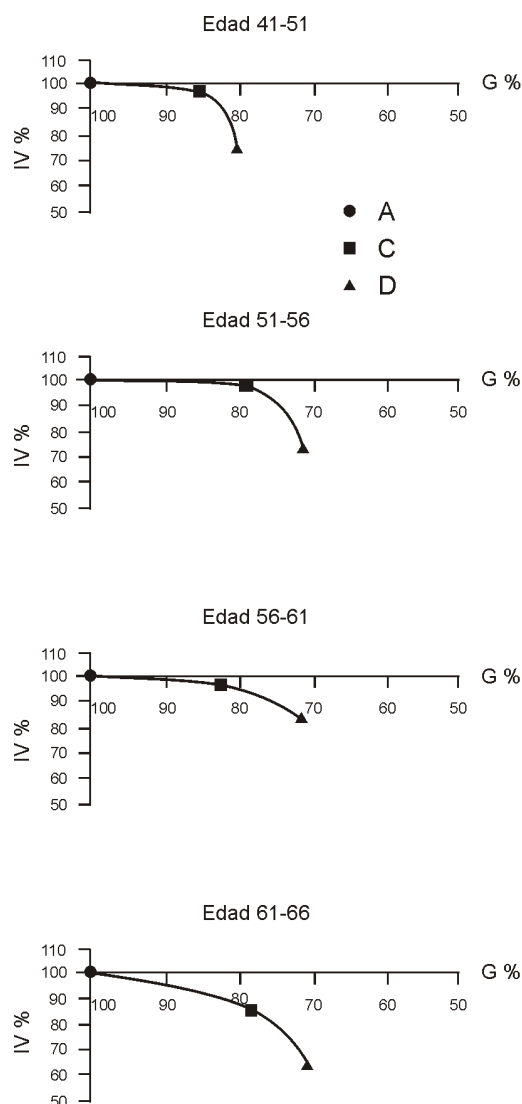


Figura III.1: Relación entre el crecimiento corriente en volumen y área basimétrica residual, expresados ambos en tanto por ciento de las parcelas testigo, en un ensayo de claras en una masa natural de calidad elevada. A: tratamiento testigo; C: claras bajas débiles; D: claras bajas moderadas (Montero *et al.*, 2001).

partir de la cual aumenta la susceptibilidad de un individuo a ser dañado el valor de 70-80 (Abetz y Prange, 1976; Cremer *et al.*, 1983; Río *et al.*, 1997). Con respecto a la densidad, con valores altos el riesgo de daños es mayor, puesto que se forma con mayor facilidad una plancha de nieve sobre las copas y, si se producen roturas, es más probable que afecten a mayor número de pies al darse fácilmente el efecto “dominó”. Por otra parte, los árboles vecinos proporcionan cierta protección lateral, que unido al entrecruzamiento de sus raíces hace que tengan mayor resistencia al viento.

El efecto de la espesura está muy relacionado con las características morfológicas del árbol individual y con el régimen de claras y el momento en el que se realizó la última clara. Con un régimen intenso de claras bajas, se aumenta la estabilidad al disminuir la densidad y eliminarse los árboles más susceptibles a ser dañados (árboles dominados con esbeltez elevada), efecto que desaparece al realizar claras altas. En la Figura III.2 se muestra un ejemplo de cómo evoluciona la esbeltez media de un rodal, en este caso de calidad de estación elevada, con distintos regímenes de claras. Se observa cómo en el caso de no realizar claras (tratamiento A) la esbeltez media del rodal es superior a 100, mientras que en los tratamientos con claras bajas débiles (C) y moderadas (D) se alcanza el valor 80 tras la segunda clara. La elevada esbeltez inicial es consecuencia del retraso de la primera intervención.

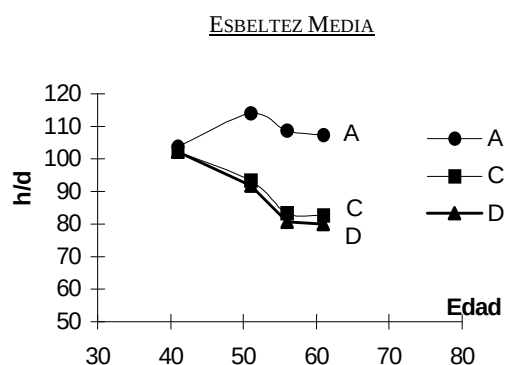


Figura III.2: Evolución de la esbeltez media con distintos regímenes de claras en una masa natural de calidad de estación elevada. A: tratamiento testigo; C: claras bajas débiles; D: claras bajas moderadas (Río, 1999).

En los primeros años después de la primera clara aumenta en cierto grado la susceptibilidad a daños de nieve y viento debido a que se elimina la protección lateral y la masa principal no ha tenido tiempo para reaccionar a la clara modificando las características de sus individuos (diámetro, esbeltez, etc.) (Burschel y Huss, 1997). Este hecho, tiene especial trascendencia en masas muy densas en las que se realiza una primera clara muy fuerte. Si el régimen de claras es adecuado, y no se realizan intervenciones drásticas, este efecto tiene menor importancia.

El efecto positivo de las claras bajas en la estabilidad de los pinares de silvestre pudo observarse en dos de los sitios de ensayo de la red de claras del CIFOR-INIA durante las fuertes nevadas del invierno de 1996 (Río *et al.*, 1997). En la Figura III.3 se representa el número de pies dañados con distintos regímenes de claras en una masa joven en la que sólo se ha realizado la primera clara (a) y en otra en la que ya se han realizado tres intervenciones (b), ambas masas de calidad de estación media. En el primer caso el mayor número de árboles dañados tuvo lugar con claras altas (Alt), seguido del tratamiento testigo sin claras (A) y de las claras con selección de árboles de porvenir (S). En las claras altas y de porvenir se elimina parte del estrato dominante y se deja en pie el dominado, por lo que disminuye la estabilidad de la masa. En el segundo

caso las mayores pérdidas han tenido lugar en el tratamiento testigo (A), disminuyendo los daños según aumenta la intensidad del régimen de claras bajas aplicado ($C > D > E$).

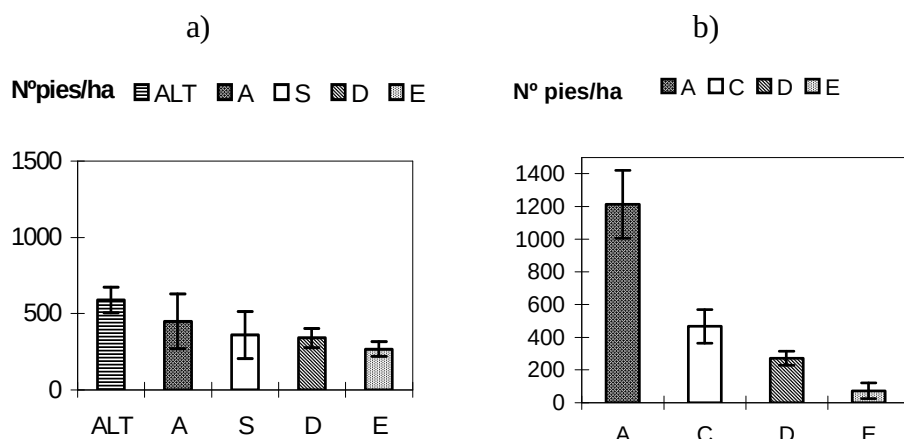


Figura III.3: Número de pies por hectárea dañados por la nieve en masas de calidad media con distintos regímenes de claras. a) masa joven en la que se ha realizado la primera clara; b) masa de 60 años en la que se han realizado tres claras. A: tratamiento testigo; Alt: claras altas; C: claras bajas débiles; D: claras bajas moderadas; E: claras bajas fuertes; S: claras de selección de árboles de porvenir (Río *et al.*, 1997).

Otro condicionante a las claras a realizar en un determinado rodal son los productos que se pueden obtener, tanto durante las cortas de mejora como al final del turno. Tecnológicamente, la madera de pino silvestre es de mediana a alta calidad, por lo que con una selvicultura adecuada puede competir en el mercado con especies como el haya y los robles de calidad media (Montero *et al.*, 2001b). Sin embargo, si no se logra madera apta para la obtención de chapa y tablón de primera en porcentajes suficientes, se sitúa en desventaja frente a otras especies de pinos de mayor crecimiento y turno más corto. La cantidad de madera apta para chapa varía con el grosor del árbol, situándose el límite inferior en 38-40 cm de diámetro normal y aumentando el porcentaje por encima de esta clase diamétrica, con un máximo de 29% entre los 65 y 70 cm de diámetro (Montero *et al.*, 1992). Para obtener mayor cantidad de madera de calidad en masas de pino silvestre se deben favorecer los espaciamientos amplios desde el inicio mediante claras tempranas y fuertes y podar los 250 pies/ha mejores (Burschel y Huss, 1997). Las claras permiten concentrar toda la capacidad productiva de la estación en los árboles más gruesos y de mejor calidad, ya que habitualmente han sido seleccionados por sus mejores características tecnológicas. Si, como es frecuente, el turno final del pino silvestre se determina atendiendo a criterios tecnológicos, las claras fuertes ayudan a acortar el turno en 20-25 años con respecto a las masas poco intervenidas o sometidas a claras débiles (Montero *et al.*, 1992; Rojo y Montero, 1996). No obstante, los productos finales dependen en gran medida de la calidad de estación, por lo que en las peores estaciones no siempre se justifica un régimen de claras intenso.

Un aspecto a tener presente es que las claras por lo bajo estimulan poco el crecimiento de los árboles dominantes en masas de pino silvestre, favoreciendo fundamentalmente el desarrollo de los árboles pertenecientes a las clases diamétricas intermedias (Vuokila, 1962; Kramer y Röö, 1989; Montero *et al.*, 2001a). Por este motivo, en las mejores calidades de estación donde se garantice la rentabilidad de las inversiones, es preferible realizar claras con selección de árboles de porvenir que favorezcan el desarrollo de estos individuos a lo largo del turno.

La respuesta a la clara en crecimiento en diámetro varía en función de las características de la clara y de la masa. Cuanto mayor sea el peso de la clara mayor es el aumento en crecimiento en diámetro de los árboles que quedan en pie y más tiempo dura el efecto, siendo más acusada esta respuesta en masas jóvenes y en las mejores calidades de estación. Según los resultados de los ensayos de claras en pino silvestre del CIFOR-INIA el crecimiento en diámetro máximo se produce entre el tercer y quinto año tras la clara y se mantiene el efecto de la clara al menos durante 9 o 10 años, superando este periodo en algunos casos (Río, 1999).

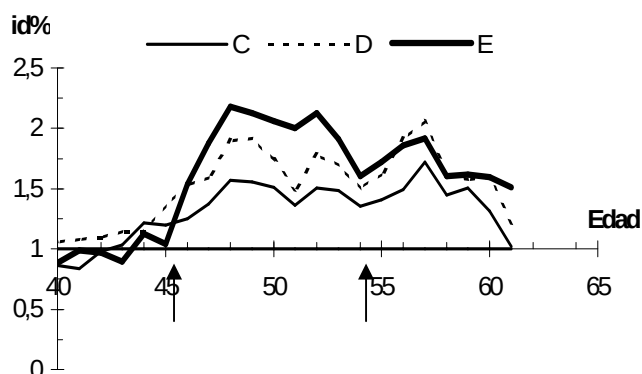


Figura III.4: Crecimiento en diámetro con distintos regímenes de claras, expresado como tanto por uno del tratamiento testigo. C: claras bajas débiles; D: claras bajas moderadas; E: claras bajas fuertes; ↑: realización de la clara (Río, 1999).

La figura III.4 incluye la respuesta a la clara en crecimiento en diámetro con diferentes pesos de claras en uno de los sitios de ensayo. Haapanen *et al.* (1979), en una experiencia de claras en masas de pino silvestre en Finlandia, observan que la respuesta en crecimiento en diámetro se manifiesta dos años después de la clara y alcanza el máximo crecimiento pasados 5 años. De acuerdo con estos resultados la rotación de las claras que se adapta a la especie se sitúa próxima a los 10 años, al menos cuando la reacción a la clara todavía es buena. Otras consideraciones en la elección de la rotación son la necesidad de extraer una mínima cantidad de madera para que la clara sea rentable económicamente (entre 30 y 50 m³/ha), que puede obligar a retrasar la clara; y el aumento de mortalidad natural con las rotaciones más largas.

Con respecto al efecto de las claras en la producción de hongos, parece haber una tendencia a una mayor producción en las masas en las que se han aplicado claras, aunque los resultados varían según las especies estudiadas (Egli *et al.*, 1990, en Martínez, 2003; Becerril, 1996; Martínez, 2003)

Por último, hay que mencionar la necesidad de controlar la composición específica en las masas mixtas a través de los claros y las claras. Como se ha mencionado al describir la tipología de los pinares de silvestre, son muchas las zonas transicionales en los que el pino albar se mezcla con otras especies como robles, hayas, abetos, etc. En estas zonas, así como en los pinares de repoblación en los que aparecen otras especies bajo la masa artificial, puede ser interesante mantener la masa mixta o bien favorecer el cambio de especie en función de los objetivos del monte. En otras regiones europeas donde las grandes repoblaciones con pino silvestre se realizaron a finales del S. XIX y principios del S. XX, la instalación natural de frondosas bajo el pinar ha sido frecuente, favoreciéndose en otros casos mediante regeneración artificial (Maddelein *et al.*, 1994).

Actualmente, en muchos de estos pinares se fija como objetivo el mantenimiento de masas mixtas, proponiéndose claras fuertes y tempranas con selección de árboles de porvenir que permitan un buen desarrollo del estrato inferior y obtener madera de calidad (Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, 1997).

□ *Régimen de claras*

Todos los aspectos mencionados determinan a grandes rasgos el régimen de claras que mejor se adapta a los pinares de silvestre: edad de iniciación temprana; claras fuertes en la primera mitad del turno y débiles en la segunda; claras bajas y de selección de árboles de porvenir; y rotación de 10 años en la primera mitad del turno. Partiendo de estas premisas, el régimen de claras se debe adaptar a las características del rodal (origen, estación, densidad inicial, etc.) y a los objetivos que se le hayan asignado, de modo que se optimicen las diferentes demandas sociales sin poner riesgo su persistencia y estabilidad.

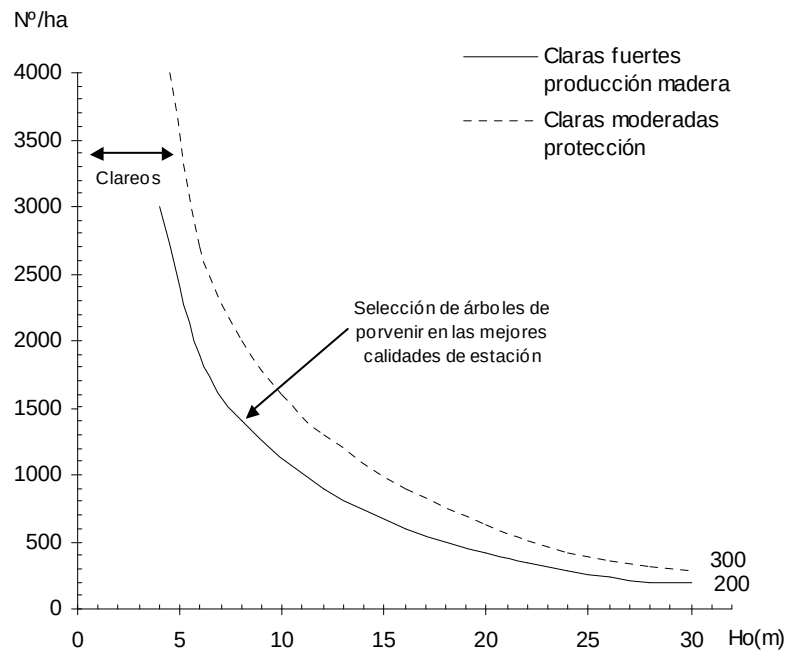
Simplificando las posibles situaciones, se pueden proponer tres regímenes selvícolas en los pinares de silvestre:

- a) *Selvicultura para la obtención de madera de calidad.* En buenas calidades de estación donde no existan condicionantes al aprovechamiento maderero, el objetivo principal será producir madera de calidad apta para la obtención de chapa en cantidad suficiente. En estas situaciones se recupera la inversión realizada en las claras y se justifican las intervenciones tempranas (20-25 años) y la selección de árboles de porvenir acompañada de poda en estos pies. El número de árboles de porvenir final será de 200 a 250 pies/ha, aunque existe discusión sobre el número de pies a seleccionar inicialmente (Abetz, 1971, en Carvalho, 1985 ; Franz, 1983; Dittmar, 1991). La capacidad de reacción a las claras en las calidades de estación buenas es alta, por lo que se realizarán claras fuertes con rotación de 10 años en la primera mitad del turno.
- b) *Selvicultura multiproducto.* Cuando la calidad de estación no permita obtener cantidades importantes de madera de calidad, pero la masa tenga una función productora se aplicará un régimen de claras similar al anterior pero con claras bajas en lugar de selección de árboles de porvenir.
- c) *Selvicultura de protección.* En los casos en los que no se va a realizar un aprovechamiento importante de la madera, bien por ser una calidad de estación baja o bien porque existan condicionantes que lo impidan (protección del suelo, conservación de fauna, etc.), la función de las claras es exclusivamente asegurar la estabilidad y el vigor de la masa. La edad de la primera clara se podrá retrasar en función de la densidad de la masa siempre que no exista un riesgo elevado de daños por nieve y viento. Las claras serán bajas y la intensidad se reduce, disminuyendo el peso de las claras y alargando la rotación a 15 años.

En la tabla III.2 de la página siguiente, se resume el régimen de claras propuesto para cada una de estas tres situaciones y en la figura III.5 se presentan las normas selvícolas que reflejan estos regímenes de claras. No obstante, hay que tener presente que esta propuesta es una simplificación de múltiples situaciones posibles, por lo que el régimen de claras se debe adaptar a cada circunstancia particular atendiendo a las consideraciones realizadas anteriormente:

Tabla III.2: Régimen de claras en función del objetivo principal de la masa

Objetivo principal	Edad de iniciación	Tipo de claras	Intensidad 1ª mitad del turno	Intensidad 2ª mitad del turno
Madera de calidad	20-25 años	Selección de Árboles de porvenir	Fuertes	Débiles
Multiproducto	20-30 años	Claras bajas	Rotación 10 años	Rotación 15 años
			Fuertes	Débiles
			Rotación 10 años	Rotación 15 años
Protección	30-35 años	Claras bajas	Moderadas	Débiles
			Rotación 10-15 años	Rotación 15 años

Fig. III.5: Normas selvícolas propuestas para *Pinus sylvestris* en función de los objetivos de la masa

En el caso de repoblaciones de pino silvestre los modelos selvícolas son similares, pero teniendo presente el mayor crecimiento y desarrollo que presentan las masas artificiales en las primeras edades. Esta particularidad favorece la realización de claras fuertes en masas jóvenes ya que la respuesta a las claras es más eficiente, especialmente en las mejores calidades de estación. Si la densidad de plantación es baja se pueden evitar los clareos y realizar una primera clara semi-sistemática. Cuando las repoblaciones tienen como función principal la protección de suelos, se deben realizar claras bajas moderadas que garanticen la cubierta permanente del suelo.

□ Caracterización de las claras

A partir de las experiencias de claras y otros estudios realizados con la red de parcelas del CIFOR-INIA (Rojo y Montero, 1996; Río et al., 1997, Río, 1999; Montero et al., 2001a, Montero et al., 2001b), se pueden ofrecer una serie de índices y cifras de referencia que faciliten la realización de las claras:

-Tipo de claras- Los dos índices más frecuentemente utilizados para describir el tipo de clara, son los cocientes del volumen del árbol medio (V_m) y diámetro medio cuadrático (D_g) de la masa extraída entre la masa principal antes de la clara (V_{me}/V_{mac} y

Dg_e/Dg_{ac}). En la Tabla III.3 se indican los valores que toman estos índices en los distintos regímenes de claras bajas ensayados en la red de claras del CIFOR-INIA: C- claras bajas débiles; D- claras bajas moderadas; E- claras bajas fuertes. Dentro de cada tratamiento, los valores de estos índices dentro del intervalo dependen fundamentalmente del número de claras que se hayan aplicado con anterioridad, aunque también influye la edad del rodal. En la primera clara, se sitúan en el rango inferior de los intervalos citados, mientras que en la última clara alcanzan los más elevados, acercándose al valor 1 propio de claras mixtas.

Tabla III.3: Valores de los cocientes del volumen del árbol medio y diámetro medio cuadrático de la masa extraída entre la masa principal antes de la clara (Vm_e/Vm_{ac} y Dg_e/Dg_{ac}) observados en cada tratamiento en las masas estudiadas (Río, 1999).

Tratamiento ¹⁾	Vm_e/Vm_{ac}	Dg_e/Dg_{ac}
C	0,45 – 0,70	0,70 - 0,85
D	0,50 – 0,80	0,75 - 0,90
E	0,60 – 0,85	0,80 - 0,95

¹⁾ C- claras bajas débiles; D- claras bajas moderadas; E- claras bajas fuertes.

- *Área basimétrica*- El área basimétrica para una masa de pino silvestre de calidad media-alta debe oscilar entre los 25 m²/ha después de la clara a los 25-30 años, e ir creciendo hasta alcanzar los 50-55 m²/ha al final de turno. Estos valores serán algo superiores para intensidades de claras de débiles a moderadas.

- *Índice de Hart*- Los valores aproximados para claras bajas débiles, moderadas y fuertes en pino silvestre son de 20%, 23% y 26% respectivamente. El índice de Hart varía con la edad del rodal, tomando valores muy elevados en las primeras edades, por lo que estas cifras sólo son válidas en edades superiores a los 35 años. Entre los 20 y 35 años estas cifras se pueden aumentar en 3-4 puntos.

- *Índice de Reineke*- Los intervalos aproximados del índice de Reineke encontrados son: en claras bajas débiles 60-75% del SDI máximo; claras bajas moderadas 45-60% del SDI máximo y claras bajas fuertes 30-45% del SDI máximo. El índice de Reineke se ha calculado utilizando la pendiente de autoaclareo (-1.75) encontrada por Río *et al.* (2001) en masas de pino silvestre no intervenidas y con máxima densidad (SDI=1445).

III.4. PODAS

En general, al igual que en otras especies de pinos, en los pinares de silvestre se realizan podas bajas o podas de penetración, cuyo objetivo suele ser múltiple (mejorar la calidad de la madera, prevención de incendios, absorber la mano de obra rural, etc.). En estas intervenciones se suelen podar todos los pies de la masa hasta una altura de 2 metros.

En las mejores calidades de estación donde se lleva a cabo una selvicultura para obtención de madera de chapa resulta interesante la realización de podas altas, ya que aumenta el porcentaje de madera de calidad que se puede obtener de cada individuo, rentabilizándose la inversión efectuada con las podas. Estas podas se realizan solamente en los árboles de porvenir y hasta una altura de 6 metros con el fin de obtener dos trozas de madera apta para chapa. Se debe podar en la fase de latizal cuando el diámetro del

árbol es menor de 15 cm para que la madera que se forme a partir del momento de la poda quede libre de nudos. Las podas altas deben ir siempre acompañadas de claras que favorezcan el crecimiento de los árboles podados.

III.5. FERTILIZACIÓN

En España no se realizan fertilizaciones en las masas de *Pinus sylvestris* L., sin embargo, son frecuentes en otras regiones del área de distribución de la especie. Durante los años ochenta aumentó el interés en la fertilización nitrogenada en los países nórdicos como consecuencia de los buenos resultados obtenidos en las primeras experiencias (Valinger, 1992), siendo actualmente una práctica habitual. En los ensayos realizados en masas de pino silvestre se ha obtenido que la fertilización nitrogenada favorece el crecimiento de la parte alta del fuste, que en combinación con las claras que provocan un mayor crecimiento en la parte baja, aumentan considerablemente la producción de la masa (Haapanen *et al.*, 1979; Valinger, 1992). Un inconveniente de la fertilización nitrogenada es que al incrementar la biomasa foliar se acumula más nieve en las copas y aumentan los riesgos de daños por nieve (Schnekenburger *et al.*, 1985; Valinger y Lundqvist, 1992). Actualmente se está limitando la fertilización en algunas masas suecas debido a los requerimientos de la certificación forestal de gestión sostenible (Egnell, 2000).

En muchas masas de pino silvestre de Centroeuropa se ha observado un incremento sustancial de la producción (Franz, 1983), que supera los valores propuestos en las tablas de producción de Wiedemann de 1943. Este incremento se atribuye en parte a las importantes inmisiones de nitrógeno de origen antrópico existentes en la zona, que oscilan entre los 5-30 kg y los 100kg por hectárea y año (Scheffer y Schachtschabel, 1992). Indicio de este hecho es que los mayores aumentos en diámetro y altura se observan en pinos sobre suelos antes deficitarios de nitrógeno (Röhrig y Bartsch, 1992). No obstante, otra posible causa es la recuperación de los suelos reforestados, sobre todo después de abandonar, hace unas décadas, la extracción de barrujo para fines agrícolas que, se estima, llegaba a alcanzar las 2-3 tm/ha/año (Kreuzer 1972, en Burschel y Huss, 1997). Como consecuencia, tanto consideraciones económicas como medioambientales llevan actualmente a reducir la superficie de pino silvestre y a su sustitución por coníferas de mayor crecimiento y, sobre todo, por frondosas.

III.6. CORTAS SANITARIAS

Los pinares de silvestre sufren frecuentemente pudriciones, en especial en edades avanzadas. Las pudriciones más comunes son las debidas al hongo *Phellinus pini*, que afectan al duramen, y por lo tanto, a la calidad de la madera (Rojo y Montero, 1996). Los árboles atacados por este hongo son los denominados “chamosos”, pero también son abundantes los llamados “sarrosos”, cuyo daño tiene su origen en el hongo *Cronartium falccidum* que destruye el liber y el cambium de la zona atacada. Existen otros hongos que provocan pudriciones en esta especie, pero no son tan abundantes. Estas pudriciones condicionan el turno de la masa y en ocasiones conllevan que las necesarias cortas de policía abran en exceso la masa. Por este motivo, si existen riesgos de pérdidas por pudriciones en la segunda mitad del turno, hay que tener presente que serán necesarias cortas sanitarias y, por lo tanto, se deberá dejar mayor número de pies del que se quiere llevar hasta final de turno.

IV. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

IV.1. CALIDAD DE ESTACIÓN

Las calidades de estación varían entre las distintas tipologías de pinares de silvestre presentando índices de calidad de estación de 13 a 29 metros a la edad de referencia de 100 años. Se han desarrollado diferentes curvas de calidad de estación según áreas geográficas, que utilizan distintas metodologías para su construcción (García Abejón, 1981; García Abejón y Gómez Loranca, 1984; García Abejón y Tella, 1986; Rojo y Montero, 1996; Bravo y Montero, 2001; Palahí *et al.*, 2004).

En los Sistemas Central e Ibérico se pueden utilizar las curvas de calidad propuestas por Rojo y Montero (1986) para el Sistema Central, ya que son las que mejor se adaptan al desarrollo de la altura dominante en ambas zonas (Figura IV.1). Las calidades encontradas oscilan entre los 17 y 29 metros de altura dominante a los 100 años. Las curvas elaboradas para las masas del Alto Valle del Ebro son prácticamente similares a las anteriores aunque con índices de calidad de estación de 14 a 23 (Bravo y Montero, 2001). Para las masas de Pirineos las curvas de calidad más recientes son las realizadas por Palahí *et al.* (2004), con índices de calidad de estación de 13 a 26 metros. Estas curvas presentan un patrón de crecimiento algo diferente a las del Sistema Central, con crecimientos superiores en la primera mitad del turno.

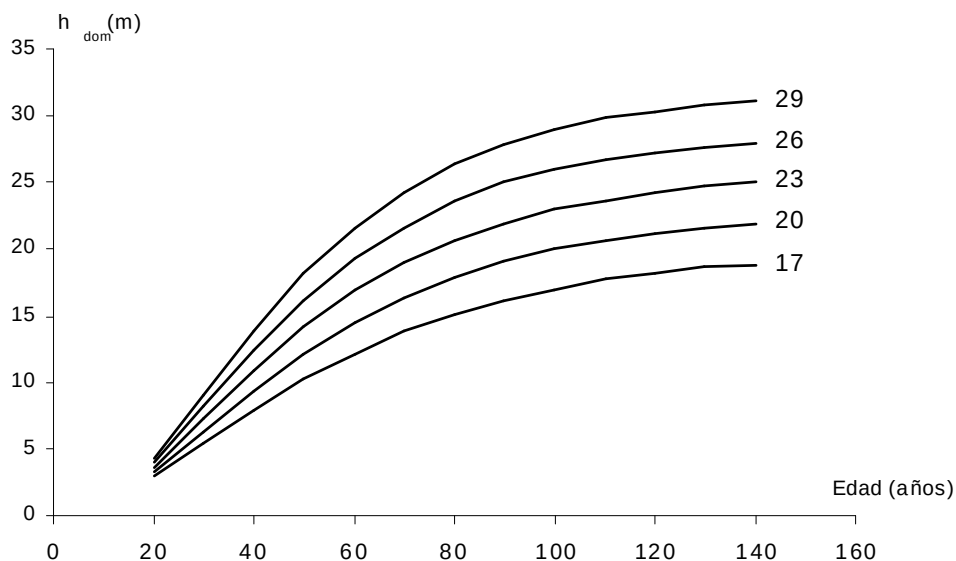


Figura IV.1: Curvas de calidad de estación para *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama (Rojo y Montero, 1986).

Las masas procedentes de regeneración presentan un patrón de crecimiento en altura dominante diferente a las masas naturales, por lo que es necesario disponer de curvas de calidad de estación para este tipo de masas. Dieguez (2004) realizó un modelo de calidad de estación para repoblaciones en Galicia basado en 236 análisis de tronco de hasta 80 años de edad, proponiendo índices de sitio de 9 a 21 m a los 40 años. Para las repoblaciones de pino silvestre en Castilla y León también se dispone de curvas de calidad de estación, en este caso se proponen índices de sitio de 12 a 24 m a los 50 años (Río *et al.*, 2006).

Para las masas de Alto Valle del Ebro se ha desarrollado además de curvas de calidad de estación una regla discriminante que permite estimar la calidad de estación en base a parámetros edáficos Bravo y Montero (2001), de gran utilidad cuando no existen árboles en pie o cuando la altura dominante no refleja la calidad de estación por haber estado sometida a cortas selectivas por huroneos (Tabla IV.1).

Tabla IV.1: Función obtenida mediante análisis discriminante para estimar el índice de calidad de estación en masas de pino silvestre en el Alto Valle del Ebro según parámetros edáficos (Bravo y Montero, 2001).

Variables	Índice de calidad de estación			
	14	17	20	23
Constante	-14,87014	-11,45326	-13,60515	-5,82951
Limo %	0,03833	0,05722	-0,07621	-0,02714
Arcilla%	5,37847	3,59074	5,72787	3,62204
CIC(meq/100g) ¹	0,26128	0,38393	0,22954	0,16047

¹ Capacidad de intercambio catiónico

IV.2. CRECIMIENTO

Según las distintas tablas de producción para la especie (García Abejón, 1981; García Abejón y Gómez Loranca, 1984; García Abejón y Tella, 1986; Rojo y Montero, 1996), el crecimiento corriente máximo en volumen se produce en torno a los 40-60 años, con valores que oscilan entre los 11 y 24 m³/ha·año en el Sistema Central, 7 y 20 m³/ha·año en el Sistema Ibérico y 4,4 y 9,1 m³/ha·año en Pirineos. Los máximos crecimientos medios en volumen tienen lugar entre los 75 y 85 años en función de la calidad de estación. En el Sistema Central los crecimientos varían entre 7,7 y 16,5 m³/ha·año, siendo algo menores en el Sistema Ibérico y Pirineos con valores entre 4,5 y 11 m³/ha·año y 3,2 y 7,1 m³/ha·año respectivamente. El crecimiento en altura culmina antes que el crecimiento en volumen con crecimientos corrientes máximos entre los 20 y 40 años. En general, los crecimientos medios máximos encontrados en las masas de pino silvestre en la península Ibérica son algo mayores a los de otras áreas geográficas. En la tabla IV.2 se presentan los crecimientos medios máximos dados en las tablas de producción de distintas regiones europeas.

Tabla IV.2: Crecimientos medios máximos (m³/ha/año) en calidades bajas y altas dados en tablas de producción de *Pinus sylvestris* de distintas regiones geográficas.

Tablas de producción	Calidad baja	Calidad alta
Sistema Central, España (Rojo y Montero, 1996)	7,7	16,5
Sologne, Francia (Decourt, 1973)	6,8	13
Reino Unido (Christie y Edwards, 1981)	6	14
Norte de Alemania (Wiedemann, 1943, en Schober, 1995)	2,7	10,9
Finlandia (Vuokila, 1967)	2,8	7,4
Noruega (Braasrad, 1980) ¹	2	9,5

¹ Modelo de crecimiento

IV.3. TURNO

De acuerdo con los datos de crecimiento expuestos el turno de máxima renta en especie varía entre 75 y 85 años según calidades de estación, siendo menor cuanto mejor sea la calidad de estación.

En un estudio realizado en el Sistema Central para determinar el turno tecnológico en el que se analizó la distribución diamétrica de las masas y el precio de la madera se obtuvo un turno de 140 años (Montero *et al.*, 1992). Este trabajo se basaba en masas poco intervenidas, por lo que con un régimen de claras más intenso se podría reducir el turno a 100-120 años para alcanzar diámetros similares.

En otras regiones del área de distribución del pino silvestre se proponen turnos parecidos a los mencionados. Por ejemplo, turnos de 80 a 130 años en Noruega (Egnell, 2000) o de 90 a 110 años en los pinares de llanura de Francia (Ginisty *et al.*, 1996, 1996), y turnos de máxima renta en especie de 65 a 90 años en Gran Bretaña (Christie y Edwards, 1981).

IV.4. PRODUCCIÓN

En la tabla IV.3 se presentan los datos de producción de *Pinus sylvestris* tomados de las tablas de producción de selvicultura de referencia para la Sierra de Guadarrama, en las que se consideran dos diferentes regímenes de claras, uno moderado (C) y otro más intenso (E). Estas tablas ofrecen una aproximación del volumen maderable que producen los pinares albares, así como de las características del árbol medio de la masa, reflejando el tipo de productos que se pueden obtener en cada calidad de estación y régimen de claras. En la Figura IV.2 se han representado las distribuciones diamétricas correspondientes a un rodal de 100 años de calidad de estación 23 (altura dominante de 23 m a los 100 años) con los dos regímenes de claras presentados en la Tabla IV.3, reflejando los mayores diámetros que se obtienen con el régimen de claras más intenso. Las distribuciones diamétricas han sido calculadas mediante la recuperación de parámetros por el método de los momentos de la función de densidad de Weibull biparamétrica (Álvarez-Taboada, 2000).

Tabla IV.3: Resumen de las tablas de selvicultura de referencia para *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama (Rojo y Montero, 1996) en las que se consideran dos regímenes de claras bajas, uno moderado (C) y otro más intenso (E).

REGIMEN MODERADO DE CLARAS (TRATAMIENTO C)

Calidad 17					Calidad 20					Calidad 23					Calidad 26					Calidad 29				
Dg	Vd	Ve	CC	N	Dg	Vd	Ve	CC	N	Dg	Vd	Ve	CC	N	Dg	Vd	Ve	CC	N	Dg	Vd	Ve	CC	N
4	-	-	-	9.920	5,0	101,8	-	-	8.717	5,6	107,3	-	-	7.812	6,3	89,5	25,2	-	7.040	6,9	92,0	25,2	-	6.267
1,5	164,7	43,9	9,2	3.344	13,4	195,9	57,8	12,1	2.819	15,3	230,9	71,5	15,0	2.408	17,2	267,2	86,8	18,3	2.081	19,1	305,0	86,8	18,3	1.819
9,6	279,8	48,5	9,9	1.348	23,2	344,2	60,3	12,6	1.080	26,7	411,0	72,9	15,3	884	30,3	478,4	87,2	18,1	743	33,7	543,0	87,2	18,1	643
5,9	370,8	41,7	7,8	817	30,4	449,6	50,5	9,5	649	34,9	530,7	59,1	11,1	525	39,6	615,9	68,7	12,8	435	44,1	699,0	68,7	12,8	375
0,4	431,9	31,0	5,5	606	35,5	518,9	35,7	6,5	481	40,6	607,5	40,3	7,5	391	45,7	694,1	48,1	7,8	324	50,9	785,0	48,1	7,8	274
3,6	470,0	22,3	3,8	503	38,9	556,4	25,6	4,0	399	44,4	647,2	28,6	4,8	326	49,8	735,2	32,1	4,5	270	55,3	827,0	32,1	4,5	220
5,8	492,2	15,1	2,5	439	41,5	580,4	17,7	3,3	352	47,1	666,6	20,3	2,9	289	52,6	750,4	26,2	3,0	240	58,3	843,0	26,2	3,0	190
7,4	500,0	14,2	1,8	400	43,3	590,5	12,7	2,0	322	49,0	675,4	15,3	2,1	264	54,7	761,1	17,2	1,7	219	60,6	851,0	17,2	1,7	169

REGIMEN FUERTE DE CLARAS (TRATAMIENTO E)

Calidad 17					Calidad 20					Calidad 23					Calidad 26					Calidad 29				
Vd	Ve	CC	N	Dg	Vd	Ve	CC	N	Dg	Vd	Ve	CC	N	Dg	Vd	Ve	CC	N	Dg	Vd	Ve	CC	N	Dg
-	-	-	9.920	5,0	101,8	-	-	8.717	5,6	77,6	29,7	-	7.812	6,3	79,9	34,8	-	7.040	6,9	80,0	35,0	-	6.260	7,5
138,4	69,0	10,0	2.792	14,6	164,3	86,1	13,0	2.353	16,6	191,2	105,4	16,0	2.010	18,6	219,8	125,6	19,2	1.738	20,6	238,0	135,0	22,0	1.510	22,5
254,5	57,7	10,7	828	28,4	308,5	70,4	13,4	664	32,5	363,8	84,0	16,1	543	36,7	418,8	99,5	18,8	456	40,7	478,0	115,0	20,0	400	42,5
344,5	41,8	7,8	492	37,4	413,2	49,4	9,4	391	42,8	482,3	58,0	11,0	316	48,3	555,7	66,4	12,6	262	53,7	610,0	75,0	14,0	200	55,0
407,6	25,8	5,1	379	43,0	485,7	28,5	6,0	301	49,0	565,0	31,2	6,8	245	55,0	641,7	37,4	7,1	203	61,0	710,0	45,0	8,0	160	65,0
449,8	13,8	3,1	333	46,0	528,2	15,9	3,3	264	52,4	610,1	17,8	4,1	216	58,6	690,2	19,7	3,7	179	64,9	750,0	25,0	4,0	140	68,0
475,0	6,4	2,0	307	48,0	557,1	6,9	2,7	246	54,3	636,8	7,9	2,2	202	60,6	712,6	13,5	2,3	168	67,0	780,0	10,0	2,5	120	70,0
486,1	5,8	1,2	297	48,9	570,1	4,4	1,2	238	55,3	650,8	4,1	1,3	195	61,7	732,9	2,8	0,8	162	68,2	800,0	0,0	0,0	100	72,0

t: Edad (años); N: Número de pies/ha antes de clara; Dg: Diámetro medio cuadrático antes de clara (cm); Vd: Volumen de la masa principal después de clara (m^3/ha); Ve: Volumen extraído (m^3/ha); CC: Crecimiento corriente anual de la masa principal ($m^3/ha\cdot a\tilde{no}$).

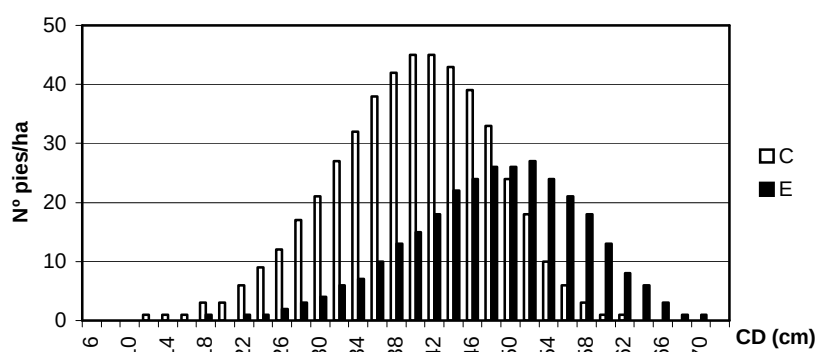


Figura IV.2: Distribuciones diamétricas estimadas para un rodal de índice de calidad 23 a los 100 años con distintos regímenes de claras: C, claras bajas débiles y E, claras bajas fuertes. Estimaciones basadas en la función Weibull biparamétrica (Álvarez-Taboada, 2000).

A partir de los datos del Segundo Inventario Forestal Nacional se presentan en la tabla IV.4 las existencias por clases diamétricas para el pino silvestre en España. Cabe destacar el crecimiento en volumen anual que alcanza el valor de $3.691.826 m^3/a\tilde{no}$. Muchas de las existencias se encuentran repartidas en las menores clases diamétricas, que incluyen las repoblaciones realizadas en los últimos cincuenta años, lo que implica que se está acumulando madera que podrá ser aprovechada en un futuro. Por otra parte, el crecimiento de árboles con diámetro mayor a 22,5 cm es de $1.441.427 m^3/a\tilde{no}$ y teniendo presente que el aprovechamiento de madera de árboles de estas dimensiones suele rondar los $700.000 m^3/a\tilde{no}$, se puede decir que se está extrayendo en torno a un 50% del crecimiento de árboles de más de 20 cm de diámetro y un 20% del crecimiento total.

Tabla IV.4.- Existencias de *Pinus sylvestris* por clases diamétricas para todo el territorio nacional según datos del Segundo Inventario Forestal Nacional

Clase diamétrica (cm)	TOTAL NACIONAL					
	Nº pies (x1000)	G (m ²)	Vcc (m ³)	Vsc (m ³)	IAV (m ³ /año)	IR(%)
5	228145	-	-	-	-	-
10	228119	1802431	5580283	3986340	613241	11,0
15	167558	2917176	12365887	9075675	879376	7,1
20	106053	3268505	16038394	12474661	757784	4,7
25	57169	2759985	15134109	12163413	521033	3,4
30	31315	2180342	13099619	10733148	359448	2,7
35	17381	1650539	10781894	8955052	247894	2,3
40	8898	1102691	7640129	6414196	150788	2,0
45	3959	621759	4617680	3918541	78791	1,7
50	1904	369184	2801431	2398768	42757	1,5
55	870	204179	1584781	1369048	21739	1,4
60	371	103791	817198	713057	10158	1,3
65	123	40005	291230	254630	3485	1,2
>70	161	73458	585660	479843	5332	1,0
Total	852.026	17094045	91338295	72936372	3691826	

G: área basimétrica; Vcc: volumen con corteza; Vsc: volumen sin corteza; IAV: crecimiento corriente en volumen ; IR: crecimiento relativo

IV.5. MODELOS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

Junto con las curvas de calidad de estación existen modelos de producción para las distintas zonas geográficas. La mayor parte de ellos son tablas de producción de selvicultura observada y de referencia, y presentan diferentes regímenes de claras:

- *Pirineos* (García Abejón y Tella, 1986)- Tablas de producción de selvicultura observada con tres calidades de estación. Régimen de claras bajas débiles.
- *Sistema Ibérico* (García Abejón, 1981)-Tablas de producción de selvicultura observada (régimen de claras bajas débiles) y de selvicultura de referencia (régimen de claras bajas moderado) con cuatro calidades de estación.
- *Sistema Central* (García Abejón y Gómez Loranca, 1984)- Tablas de producción de selvicultura observada (régimen de claras bajas débiles) y de selvicultura de referencia (régimen de claras bajas moderado) con cuatro calidades de estación
- *Sierra de Guadarrama* (Rojo y Montero, 1996)- Tablas de producción de selvicultura de referencia. Definen 5 calidades de estación y proponen dos modelos selvícolas: claras moderadas y fuertes. Estas tablas se han complementado recientemente con un estudio sobre las distribuciones diamétricas que permite estimar estas distribuciones utilizando la función Weibul (Álvarez-Taboada, 2000).

- *Replantaciones en Castilla y León* (Río *et al.*, 2006)- Tablas de producción de silvicultura de referencia que reflejan un régimen de claras de moderado a fuerte.

Además de las tablas de producción se han desarrollado modelos de crecimiento y producción para la especie que utilizan otras metodologías para su construcción:

- *Modelo de producción para el Alto Valle del Ebro* (Bravo, 1998)- Modelo de masa o de rodal, que tiene como particularidad incluir en algunas funciones el índice de densidad de Reineke, permitiendo estimar la producción de pino silvestre cuando hay otras especies arbóreas presentes en la masa. Se trata de un modelo de producción estático que predice el área basimétrica, volumen y diámetro medio cuadrático en función del número de pies y la altura dominante. Para regular las claras propone la utilización del índice de Reineke.
- *Modelo de simulación de claras* (Río y Montero, 2001) –Este modelo se basa en los datos de las parcelas permanentes de claras del CIFOR-INIA situadas en los Sistemas Central e Ibérico. Se trata de masas artificiales y naturales de diferentes calidades de estación y con edades comprendidas entre los 20 y 75 años. El modelo estima las variables de masa en función de las condiciones iniciales a través de funciones de proyección (crecimiento en área basimétrica y en volumen y mortalidad natural) y funciones de simulación de claras. A partir de las variables de masa se calculan las distribuciones diamétricas mediante la recuperación de los parámetros de la función de Weibull de tres parámetros. Este modelo se ha implementado en el programa informático SILVES, facilitando la simulación de diferentes regímenes de claras. Recientemente se ha realizado una adaptación de este modelo para las repoblaciones de la Comunidad de Madrid (Río *et al.*, 2005).
- *Modelo de crecimiento para Pirineos* (Palahí *et al.*, 2002; 2003) – Modelos de rodal y de árbol individual basado en las parcelas permanentes de producción del CIFOR-INIA en Pirineos. El modelo de rodal se trata de un modelo dinámico que incluye ecuaciones de crecimiento en área basimétrica y en volumen, así como una ecuación de mortalidad natural. Por otra parte, el modelo de árbol individual está formado por ecuaciones de crecimiento independientes de la distancia para el diámetro y la altura y una función de mortalidad individual.
- *Modelo de crecimiento para Castilla y León* (Bravo *et al.*, 2005a) - Modelo de árbol individual independiente de la distancia para masas naturales de pino silvestre en la región de Castilla y León basado en parcelas temporales. La estructura general del modelo hace que se pueda utilizar para la proyección de los datos del Inventario Forestal Nacional de España. El modelo consta de una función de probabilidad de mortalidad individual (Bravo-Oviedo *et al.*, 2006), una ecuación de masa incorporada (Bravo *et al.*, 2005b), ecuaciones de copa y de perfil de fuste (Lizarralde, 2003, Lizarralde y Bravo, 2005) y una ecuación de crecimiento en diámetro.
- *Modelo de crecimiento para repoblaciones en Galicia* (Diéguez, 2004)- Modelo de rodal dinámico para repoblaciones en el norte de España a partir de parcelas permanentes investigación de la Unidad de Gestión Forestal Sostenible de la Universidad de Santiago de Compostela. Esta red de parcelas cubre solo un rango de

edades de 10 a 60 años. Se trata de un modelo de masa que utiliza funciones de transición (en formas algebraicas) de tres variables de estado (altura dominante, número de pies y área basimétrica). Para cada estado se realiza una desagregación diamétrica mediante la estimación de los dos primeros momentos de la distribución diamétrica a partir de las variables de masa. El modelo se completa con una ecuación de altura-diámetro generalizada y una ecuación de perfil que permite clasificar los productos. El modelo se ha implementado en la aplicación informática GesMO (González *et al.*, 2004).

V. ESQUEMA SELVÍCOLAS

 Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)			
Ho	Madera de calidad (IC 26 y 29)¹	Multiproducto (IC 20 y 23)¹	Protección²
0-5 m	Hasta 3.000 pies/ha Limpias yclareos Posibilidad de intervenciones sistemáticas Podas bajas	Hasta 3.500 pies/ha	Hasta 4.000 pies/ha Limpias yclareos Cortas selectivas Podas bajas
5-6 m	Hasta 1900 pies/ha 1ª clara (fuerte) Selección y poda de árboles de porvenir 200-250 pies/ha	Clara baja	Hasta 2700 pies/ha 1ª clara Moderada
7-16 m	Hasta 900 pies/ha Claros fuertes con rotación 10 años Claros de selección y poda a 6 m de los árboles de porvenir	Claros bajas	Hasta 900 pies/ha Claros bajas débiles Rotación 10-15 años
16-20 m	Hasta 400 pies/ha Claros débiles con rotación 15 años Claros de selección de árboles de porvenir	Claros bajas	Hasta 600 pies/ha Claros bajas débiles con rotación 15 años <i>Comienzo del aclareo sucesivo en las peores calidades</i>
20- 23 m	Hasta 300 pies/ha Claros débiles con rotación 15 años Claros de selección de árboles de porvenir	Claros bajas <i>Comienzo del Aclareo sucesivo</i>	<i>Comienzo del aclareo sucesivo en calidades intermedias</i>
A partir de 23 m	Reducción a 200 pies/ha <i>Comienzo del aclareo sucesivo</i>		<i>Comienzo del Aclareo sucesivo en las calidades buenas</i>

¹ Índices de calidad de estación según Rojo y Montero (1996) en los que se adapta mejor cada modelo selvícola.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- ABETZ P., PRANGE H., 1976. Schneebruchschäden vom März 1975 in einer Kiefernversuchsfläche mit geometrischen und selektiven Eingriffen in der nordbadischen Rheinebene. AFZ 31, 583-586.
- ALIA R., MORO-SERRANO J., NOTIVOL E., 2001. Genetic variability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) provenances in Spain: growth traits and survival. *Silvae Fennica* 35(1), 27-38.
- ÁLVAREZ-TABOADA M.F., 2000. Caracterización de las distribuciones diamétricas de las masas de *Pinus sylvestris* L. en la Sierra de Guadarrama. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo.
- ASEGUINOLAZA C., GÓMEZ D., LIZAUR X., MONTSERRAT G., MORANTE G., SALAVERRÍA M.^a R., URIBE-ECHEBARRÍA P.M.^a, 1989. Vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria. 361 pp.
- ASSMANN E., 1970. The principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford, 506 pp.
- BECERRIL J.J., 1996. Influencia de las claras selvícolas en la producción micológica de masas de *Pinus sylvestris* L. de la provincia de Lleida. Proyecto fin de carrera. E.T.S. d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida.
- BERNETTI G., 1995. Selvicoltura speciale. Scienze Forestali Ambientali. ETET. Torino. 415 pp.
- BOUDRU M., 1989. *Forêt et Sylviculture: Traitement des Forêts*. Les Presses Agronomiques de Gembloux, A.S.B.L., Gembloux, 356 pp.
- BRAVO F., 1998. Modelo de producción para *Pinus sylvestris* L. en el Alto Valle del Ebro. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, Palencia.
- BRAVO F., MONTERO G., 2001. Site index estimation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the High Ebro Basin (northern Spain) using soil attributes. *Forestry* 74 (4), 395-406.
- BRAVO F., MONTERO G., 2003. High-grading effects on Scots pine volume and basal area in pure stands in northern Spain. *Ann. For. Sci.* 60, 11-18.
- BRAVO F., BRAVO-OVIEDO A., LIZARRALDE I., 2005a. Estructura general de un modelo de simulación aplicable al Inventario Forestal Nacional. 4º Congreso Forestal Español: La Ciencia Forestal: Respuestas para la Sostenibilidad. Zaragoza, septiembre 2005.
- BRAVO F., PANDO V., ORDÓÑEZ C., LIZARRALDE I., 2005b. Modelización de la masa incorporada para la proyección de parcelas del Inventario Forestal Nacional. 4º Congreso Forestal Español: La Ciencia Forestal: Respuestas para la Sostenibilidad. Zaragoza, septiembre 2005.
- BRAVO-OVIEDO A., STERBA H., DEL RÍO M., BRAVO F., 2006. Competition-induced mortality for mediterranean *Pinus pinaster* Ait. and *P. sylvestris* L. *Forest Ecology and Management* 222, 88-98.
- BRAASRAD H., 1980. Tilveksmodellprogram for furu. Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning 35.5, 359.
- BURSCHEL P., HUSS J., 1997. Grundriß des Waldbaus. Parey Buchverlag, Berlin, 487 pp.
- CAMPO M. DEL, PEÑA F., 1922. Estudios de absorción de luz relativos a especies forestales. Colección Selvicultura española. Gráficas Reunidas S.A., Madrid, 72 pp.
- CANTIANI M.G., 1989. Ricerche sperimentali sul diradamento delle peccete pure coetanee della val di Fiemme. *Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali* 38, 11-80.

- CARVALHO A.M.M., 1985. Teoria da Produção Florestal. Universidad Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 531 pp.
- CASTROVIEJO S., LAÍNZ M., LÓPEZ G., MONTSERRAT P., MUÑOZ F., PAIVA J., VILLAR L. (Ed.), 1986. Flora Ibérica, Vol I. Real Jardín Botánico, C.S.I.C. Madrid. 575 pp.
- CATALÁN G., GIL L., GALERA R., MARTÍN S., AGÚNDEZ D., ALÍA, R., 1991. Las regiones de procedencia de *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco en España. ICONA, Madrid. 31 pp. + fichas.
- CATÓN SANTARÉN B., URIBE-ECHEBARRÍA P.M^a, 1980. Mapa de Vegetación de Álava. Excelentísima Diputación Foral de Álava. Vitoria
- CHRISTIE J.M., EDWARDS P.N., 1981. Yields Models for Forest Management. Forestry Commission Booklet 48, 32 pp.
- CHROUST L., 1979. Thinning Experiment in a Scots pine Forest Stand after 20 Years investigation. Comm. Inst. For. Chec. 11, 61-75.
- COSTA TENORIO M., MORLA C., SAINZ OLLERO H., (eds.) 1997. Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. Editorial Planeta, Madrid, 572 pp.
- CREMER K.W., CARTER P.R., MINKO G., 1983. Snow damage in Australian pine plantations. Aust. For. 46(1), 53-66.
- DECOURT N., 1973. Tables de production pour les forêts françaises. Centre National des recherches Forestières, I.N.R.A. (E.N.G.R.E.F.), Nancy. 159 pp.
- DIÉGUEZ U., 2004. Modelo dinámico de crecimiento para masas de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en Galicia. Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Superior (Universidad de Santiago de Compostela), Lugo.
- DITTMAR O., 1991. Zur Z-Baum-Entwicklung in langfristigen Kieferndurchforstungsflächen des nordostdeutschen Tieflandes. AFJZ 162(7), 121-125.
- DONÉS J., MONTERO G., MADRIGAL A., CABRERA M., 1994. Study and characterization of *Pinus sylvestris* L. regeneration in “Pinar de Valsain” forest. Inves. Agr.:Sist. Rec. For., Fuera de Serie 3, 141-148.
- DUPIAS G., 1985. Carte de Végétation de la France au 200.000. Végétation des Pyrénées. Notice détaillée de la partie pyrénéenne des feuilles n°69 Bayonne, n°70 Tarbes, n°71 Toulouse, n°71 Carcassonne, n°76 Luz, n°77 Foix, n°78 Perpignan. CNRS, Paris.
- EGNELL G., 2000. Silviculture and management of Scots pine in Sweden. Invest. Agr.: Sist. Recur. For., Fuera de Serie 1, 165-174.
- ERTELD, W., 1960. Untersuchung über Leistung und Entwicklung der Kiefer bei verschiedener Behandlung. AFZ 9, 326-364.
- FRANZ, F., 1983. Zur Behandlung und Wuchsleistung der Kiefer. Forstw. Cbl. 102, 18-36.
- GALERA R., 1993. Variación morfológica de *Pinus sylvestris* L. en España: Caracteres de acículas, piñas y piñones. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- GARCÍA ABEJÓN J.L., 1981. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Ibérico. Comunicaciones I.N.I.A. Serie Recursos Naturales 10, 47 pp.
- GARCÍA ABEJÓN J.L., GÓMEZ LORANCA J.A., 1984. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Comunicaciones I.N.I.A. Serie Recursos Naturales 29, 36 pp.

- GARCÍA ABEJÓN J.L., TELLA G., 1986. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Pirenaico. Comunicaciones I.N.I.A. Serie Recursos Naturales 43, 28 pp.
- GARCÍA-ABRIL A., GRANDE ORTIZ M.A., CIFUENTES VEGA P., 1994. The transformation on uneven-aged forest in the *Pinus sylvestris* public lands of Cercedilla and Navacerrada (Regional Community of Madrid). Application of the principles of close to nature silviculture. Invest. Agr.: Sist. Rec. For. Fuera de serie 3: 193-205.
- GINISTY C., RAOUL S., GELDREICH P., CHEVALIER R. 1996. Sylviculture du pin sylvestre en plaine. ONF Bull. Tech. n° 31, 65-70.
- GONZÁLEZ J.M., CASTEDO F., DIÉGUEZ-ARANDA U., ROJO A., ÁLVAREZ GONZÁLEZ J.G. 2004. GesMO 1.00. Simulador de crecimiento y clasificación de productos de masas forestales. Escola Politécnica Superior. Universidade de Santiago de Compostela.
- GONZÁLEZ-MARTÍNEZ S.C., 2001. Estructura poblacional y flujo genético de *Pinus pinaster* Aiton en el noroeste de la Península Ibérica. Tesis doctoral. Dpto. Silvopascicultura. E.T.S.I. Montes. UPM. Madrid.
- GONZÁLEZ-MARTÍNEZ S.C., BRAVO F., 1997. Estudio y caracterización de la regeneración natural del pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en masas forestales del Alto Valle del Ebro. II Congreso Forestal Español, Irati 97, Navarra. Mesa 4, pp. 297-302.
- GONZÁLEZ-MARTÍNEZ S.C., BRAVO F., 1999. Regeneración natural, establecimiento y primer desarrollo del pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.). Invest. Agr.: Sist. Rec. For. Fuera de Serie 1, 225-247.
- GONZÁLEZ VÁZQUEZ E., 1926. Regeneración de los montes de especies de luz. Revista de Montes 50, 297-357.
- GONZÁLEZ VÁZQUEZ E., 1945. La selvicultura española. Montes 5, 311-318.
- GONZÁLEZ VÁZQUEZ E., 1948. Selvicultura. Libro segundo: Estudio cultural de las masas forestales y los métodos de ordenación. Ed. Residencia de Profesores, Madrid. 452 pp.
- HAAPANEN T., HARI P., KELLOMÄKI S., 1979. Effect of Fertilization and Thinning on Radial Growth of Scotch Pine. Silva Fennica 13(2), 184-189.
- HERNÁNDEZ A., MONTERO G., 1993. Evolución de la selvicultura en los montes de pino silvestre de Soria: Métodos de cortas y regeneración aplicados. I Congreso Forestal Español, Lourizán. Tomo II, pp. 511-516.
- KRAMER H., RÖÖS M., 1989. Durchforstungsversuch in einem weitständig begründeten Kiefernbestand. Forst und Holz 44(6), 139-144.
- LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG, 1997. Richtlinien zur Jungbestandspflege. Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg. 16 pp.
- LAGUNA M., AVILA P. DE, 1883. Flora Forestal Española. Primera parte. Imprenta del Colegio Nacional de Sordo-Mudos y de Ciegos, Madrid. 372 pp.
- LIZARRALDE I., 2003. Modelos de copa, perfil y cubicación para pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en el norte de España. Trabajo de Investigación Tutelado ETS de Ing. Agrarias (Universidad de Valladolid), Palencia.
- LIZARRALDE I., BRAVO F., 2005. Análisis del espesor de corteza en ecuaciones de perfil para pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) en Castilla y León. 4º Congreso Forestal Español: La Ciencia Forestal: Respuestas para la Sostenibilidad. Zaragoza, septiembre 2005.

- MADDELEIN D., NEIRYNCK J., SIOEN G., 1994. Growth and management of mixed *Pinus sylvestris*-*Quercus robur* stands in Flanders-Belgium. Invest. Agr.: Sist. Rec. For. Fuera de serie 3, 241-249.
- MANGOLD S., SPELLMANN H., 1989. Schneeschäden in Erdmann-Beständen. Forst und Holz 44(4), 90-94.
- MARTÍNEZ F. 2003. Producción y aprovechamiento de *Boletus edulis* Bull.: Fr. en un bosque de *Pinus sylvestris* L. Bases para la ordenación y valoración económica del recurso micológico forestal. Junta de Castilla y León, Consejería de Medio Ambiente, 134 pp.
- MARTÍNEZ F., MONTERO G., 2001. Typology of *Pinus sylvestris* L. forests in Spain. Invest. Agr.: Sist. Rec. For. Fuera de Serie 1, 41-65.
- MARTÍNEZ DE PISÓN, M., 1948. *Defensa del método denominado "ordenar transformando"*. Escuela Especial de Ingenieros de Montes. Madrid. 108 pp.
- MASON W.L., 2000. Silviculture and stand dynamics in Scots pine forests in Great Britain; implications for biodiversity. Invest. Agr.: Sist. Rec. For. Fuera de Serie 1, 175-197.
- MENÉNDEZ DE LA VEGA R., 1966. 4º Revisión del Proyecto de Ordenación del monte "Santa Inés y Verdugal" (Soria). Documento inédito.
- MONTERO G., 1987. 1ª Revisión del Proyecto de Ordenación del monte "Cabeza de Hierro" Sociedad Belga de los Pinares de El Paular. Documento inédito. Madrid.
- MONTERO G., CAÑELLAS I., ORTEGA C., RIO M., 2001a. Results from a thinning regime experiment in a Scots pine natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain range (Spain). Forest Ecology and Management 145, 151-161.
- MONTERO G., RÍO M., ORTEGA C., 1997. Efectos de la silvicultura en la reducción de los daños por la nieve en masas de *Pinus sylvestris* L. del Sistema Central. Montes 47, 5-10.
- MONTERO G., RÍO M., ORTEGA C., 2000. Ensayo de claras en una masa natural de pino silvestre en el Sistema Central. Invest. Agr.:Sist. Rec. For. 9 (1), 147-168.
- MONTERO G., ROJO A., ALÍA R., 1992. Determinación del turno de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Montes 29, 42-48.
- MONTERO G., ROJO A., ÁLVAREZ-TABOADA N., RÍO M., 2001b. Aspectos selvícolas y económicos de los pinares de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, 193, 27-56.
- MONTES F., 2004. *Estudio de la relación entre la silvicultura y la diversidad estructural en los montes Pinuas de Valasaín y Pinar de Navafría*. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Montes, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- MORILLO J.M., 1987. Estudio de las causas que limitan la regeneración natural de *Pinus sylvestris* L. en el cuartel "D" del monte Cabeza de Hierro. Trabajo fin de carrera. E.U. de Ingeniería Técnica Forestal, Madrid. 307 pp. (inédito).
- NICOLÁS A., GANDULLO J.M., 1969. Ecología de los pinares españoles II: *Pinus sylvestris* L. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 303 pp.
- OLIVER C.D., LARSON B.C., 1996. Forest Stand Dynamics. John Wiley & Sons, New York. 520 pp.
- OOSTERBAAN A., 1994. Results of trial with natural regeneration of *Pinus sylvestris* in the Netherlands. Invest. Agr.: Sist. Rec. For. Fuera de Serie 3, 149-153.
- PALAHÍ M., MIINA J., TOMÉ M., MONTERO, G., 2002. Stand-level yield model for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in north-east Spain. Invest. Agr.:Sist. Rec. For. 11(2), 409-424.

- PALAHÍ M., PUKKALA T., MIINA J., MONTERO G., 2003. Individual-tree growth and mortality models for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in north-east Spain. *Ann. For. Sci.* 60(1), 1-10.
- PALAHÍ M., TOMÉ M., PUKKALA T., TRASOBARES A., MONTERO G., 2004. Site index model for *Pinus sylvestris* in north-east Spain. *For. Eco. Manage.* 187 (1), 35-47.
- PARDOS M., MONTES F., ARANDA I., CAÑELLAS I., 2005. Influence of environmental conditions on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) germinant survival and diversity in Central Spain. *European Journal of Forest Research*. Publicado on line: <http://dx.doi.org/10.1007/s10342-005-0090-6>
- POLLEY H., 1995. Beurteilung der mechanischen Stabilität der Waldbäume auf der Grundlage der Bundeswaldinventur. *Forst und Holz* 50(19), 594-597.
- PRUST-GLOWACKI W., STEPHAN B.R., 1994. Genetic variation of *Pinus sylvestris* from Spain in relation to other European populations. *Silvae Genetica* 43(1), 7-14.
- RÍO M., 1999. Régimen de claras y modelo de producción para *Pinus sylvestris* L. en los Sistemas Central e Ibérico. Tesis Doctorales INIA. Serie: Forestal N° 2.
- RÍO M., MONTERO G., 2001. Modelos de simulación de claras en masas de *Pinus sylvestris* L. Monografía INIA. Serie Forestal 3, 114 pp.
- RÍO M., MONTERO G., ORTEGA C., 1997. Respuesta de los distintos regímenes de claras a los daños causados por la nieve en masas de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. *Invest. Agr.: Sist. Rec. For.* 6 (1,2), 103-117.
- RÍO M., MONTERO G., BRAVO F., 2001. Analysis of diameter-density relationships and shelf-thinning in non-thinned even-aged Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 142, 79-87.
- RÍO M., ROIG S., CAÑELLAS I., MONTERO G., 2005. Programación de claras en repoblaciones de claras de *Pinus sylvestris* L. Seguimiento de sitios de ensayo en la Comunidad de Madrid. Monografía INIA. Serie Forestal nº 12, 46 pp.
- RÍO M., LÓPEZ E., MONTERO G., 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, Consejería de Medio Ambiente, serie técnica.
- ROBLEDO-ARNUNCIO J.J., COLLADA C., ALÍA R., GIL L., 2005. Genetic structure of montane isolates of *Pinus sylvestris* L. in a Mediterranean refugial area. *Journal of Biogeography* 32, 595-605.
- RÖHRIG E., BARTSCH N., 1992. Waldbau auf ökologischer Grundlage. Band 1: Der Wald als Vegetationsform und seine Bedeutung für den Menschen. Verlag Paul Parey. 350 pp.
- ROJO SAIZ F., 1977. Fotología forestal y ordenación. *Montes* 187, 31-34.
- ROJO A., MONTERO G., 1996. El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. 293 pp.
- ROTTMANN M., 1985. Waldbauliche Konsequenzen aus Schneebruch-katastrophen. *Schweiz. Z. Forstwes* 136(3), 167-184.
- ROUSSEL R., 1972. Photologie forestière. Masson y Cie, Paris. 136 pp.
- RUBIO L.V., 1987. Estudio de las causas que limitan la regeneración natural de *Pinus sylvestris* L. en el cuartel "B" del monte Cabeza de Hierro. Trabajo fin de carrera. E.U. de Ingeniería Técnica Forestal, Madrid.
- RUIZ DE LA TORRE J., CEBALLOS L., 1979. Árboles y arbustos de la España Peninsular, E.T.S.I.M. Servicio de Publicaciones, Madrid, 512 pp.

- SAÍNZ MARGARETO, M., 1953. Tratamiento de aclareos sucesivos uniforme en el monte "Pinar de Navafría". *Montes*, 49, 60-67.
- SAÍNZ MARGARETO, M., 1963. Método de ordenar transformando en el monte "Pinar de Navafría". En: II Asamblea Técnica Forestal. Madrid 11-16 de junio, 1962 Ministerio de Agricultura. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. Madrid.
- SANTOS M., 1987. Estudio de las causas que limitan la regeneración natural de *Pinus sylvestris* L. en el cuartel "E" del monte Cabeza de Hierro. Trabajo fin de carrera. E.U. de Ingeniería Técnica Forestal, Madrid.
- SCHEFFER F., SCHACHTSCHABEL P., 1992. Lehrbuch der Bodenkunde. Enke Verlag. 491 pp.
- SCHNEKENBURGER F., BROWN K.M., BARKER J.E., 1985. Effects of Nitrogen Fertilization and Low thinning on Snow Damage in Jack Pine. *For. Sci.* 31(3), 552-556.
- SCHOBER R., 1995. Ertragstabeln wichtiger Baumarten. J.D.Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main. 166 pp.
- SLODICÁK M., 1991. Resistance of young spruce stands to snow and wind damage in dependence on thinning. *Comm. Inst. For. Chec.* 15, 75-86.
- VALKONEN S., 2000. Effects of retained Scots pine trees on regeneration, growth, form and yield of forest stands. *Invest. Agr.: Sist. Rec. For. Fuera de Serie* 1, 121-145.
- VALINGER E., 1992. Effects of thinning and nitrogen fertilization on stem growth and stem form of *Pinus sylvestris* trees. *Scand. J. For. Res.* 7, 219-228.
- VALINGER E., LUNDQVIST L., 1992. The influence of thinning and nitrogen fertilisation on the frequency of snow and wind induced stand damage in forests. *Scottish Forestry* 46(4), 311-320.
- VALINGER E., LUNDQUIST L., SUNDBERG B., 1995. Mechanical bending stress applied during dormancy and growth stimulates stem diameter growth of Scots pine seedling. *Can. J.For.Res.* 25 (6), 886-890.
- VIDULICH A., 1988. Indagini sugli schianti da neve a carico de soprassuoli di pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) in provincia di Bolzano. *L'Italia Forestale e montana* 2, 100-118.
- VIGO J., NINOT J.M., 1987. Los Pirineos. En: La vegetación de España. PEINADO LORCA M., RIVAS-MARTÍNEZ S. (eds). Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.
- VILLACAMPA A.A., 1868. Arboricultura. El pino silvestre. *Revista Forestal, Económica y Agrícola*. Tomo I: 414-422; 547-566; 640-654 y 717-727.
- VUOKILA Y., 1962. The effect of thinnings on the yield of pine and birch stands. *Comm. Inst. For. Fenn.* 55(12), 12 pp.