

## **CAPÍTULO.-**

### **SELVICULTURA DE *PINUS RADIATA***

---

***Federico Sánchez Rodríguez***

*Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. C/ Bernardino Pardo Ouro, s/n. 27002 LUGO. fesan@lugo.usc.es*

***Roque Julio Rodríguez Soalleiro***

*Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. C/ Bernardino Pardo Ouro, s/n. 27002 LUGO. roquers@lugo.usc.es*

---

#### **I. TIPOLOGÍA**

- I.1. TAXONOMÍA, VARIEDADES Y PROCEDENCIAS
- I.2. TIPOLOGÍA DE LOS PINARES DE INSIGNE
  - I.2.1. Masas y hábitat natural
  - I.2.2. Repoblaciones

#### **II. REGENERACIÓN POR DISEMINACIÓN NATURAL Y REPOBLACIÓN FORESTAL**

- II.1. PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA REGENERACIÓN
  - II.1.1 Fructificación
  - II.1.2. Diseminación y germinación
  - II.1.3. Tratamientos de regeneración
- II.2. TÉCNICAS DE REPOBLACIÓN
  - II.2.1. Calidad de la planta
  - II.2.2. Preparación del sitio de plantación
  - II.2.3. Manejo de restos de corta

#### **III. TRATAMIENTOS PARCIALES**

- III.1. DESBROCES
- III.2. CLAREOS
- III.3. CLARAS
  - III.3.1. Edad de iniciación
  - III.3.2. Volúmenes extraídos en las claras
  - III.3.3. Peso y rotación de las claras
  - III.3.4. Selección del arbolado en las claras.
- III.4. PODAS
- III.5. FERTILIZACIÓN
- III.6. SANITARIOS

#### **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. BIBLIOGRAFÍA**

---

## I. TIPOLOGÍA

### I.1. TAXONOMÍA, VARIEDADES Y PROCEDENCIAS

*Pinus radiata* pertenece al subgénero de pinos diplostélicos o *Diploxyton*, según la división realizada por Shaw (1914), caracterizada principalmente por un doble haz vascular en el nervio central acicular. Dentro de este subgénero, esta especie se ubica en la sección *Taeda*, que comprende pinos naturales de Norteamérica, especialmente de las regiones áridas de Estados Unidos y México. Los pinos de esta sección presentan, entre otras características ramillos multinodales con tres o cinco acículas por cada vaina (rara vez dos u ocho) y alas bien desarrolladas, caducas o más o menos persistentes, en los piñones y piñas serótinas (Ruiz de la Torre y Ceballos, 1979).

Shaw (1914) incluyó a *Pinus radiata* dentro del grupo de los insignes, constituido por unas 16 especies boreales próximas entre sí. Como característica evolutiva sobresaliente de este grupo señala su hábito de conservar las piñas en el árbol durante varios años, con aperturas y cierres periódicos de las escamas. Pueden liberar semilla viable durante varios años, lo que aumenta las posibilidades de que se encuentren las condiciones óptimas para una buena germinación, y de superar años malos o condiciones adversas para el regenerado. Este comportamiento suele denominarse apertura serótina o tardía, y es considerado un estado avanzado de la evolución del género *Pinus*.

Actualmente se reconocen tres variedades dentro de esta especie: una variedad continental denominada variedad *radiata*, en la que predominan tres acículas por vaina, y dos variedades isleñas, *binata* y *cedrosensis*, de las islas mexicanas de Guadalupe y Los Cedros, en las que dos acículas son mucho más frecuentes.

Dentro de la variedad continental existen tres procedencias distintas que se encuentran muy próximas genéticamente, localizándose la mayor parte de la variabilidad dentro de cada masa (Morán *et al.*, 1988). La tolerancia al frío parece disminuir de norte a sur de su área natural, y diferentes comportamientos en cuanto a crecimiento, forma, sensibilidad frente al ataque de patógenos y otras condiciones adversas, han sido reconocidos en ensayos de procedencias realizados en los países de su actual área de distribución (Shelbourne *et al.*, 1979; Espinel y Aragonés, 1997, etc.).

Año Nuevo y Monterrey, las dos procedencias más septentrionales, parecen ser en mayor o menor grado el origen de todas las repoblaciones efectuadas fuera del área nativa de la especie (Lavery, 1986); en el caso vasco son grandes las afinidades genéticas con la procedencia Año Nuevo (Arregui *et al.*, 1999).

La adaptación a la zona de introducción junto con la selección efectuada por la selvicultura, puede provocar comportamientos diferentes de las razas locales respecto a las procedencias nativas. Así, Espinel y Aragonés (1997) han apuntado la posibilidad de una adaptación hacia fustes más rectos de la población vasca, que habría sido causada por su adaptación a frecuentes nevadas, elevadas pendientes y suelos someros. Así mismo, en un ensayo de campo comprobaron una mortalidad muy inferior de la procedencia vasca respecto a las californianas ante una repentina bajada de las temperaturas (Aragonés *et al.*, 1994).

Las razas o procedencias locales también pueden diferir genéticamente de las nativas, máxime si han sido sometidas a mejoramiento. Dada la antigüedad de su introducción, generalmente se admite el gran valor que posee el patrimonio genético de las poblaciones locales. Aunque su comportamiento debe ser contrastado con ensayos de procedencias, es usual que los procesos de mejora partan de la selección de árboles sobresalientes procedentes de éstas.

## I.2. TIPOLOGÍA DE LOS PINARES DE INSIGNE

### I.2.1. Masas y hábitat natural

El área natural de *Pinus radiata* se reduce a unos pocos miles de hectáreas en tres puntos costeros de la California central, Año Nuevo, Monterrey y Cambria, nominadas de norte a sur, y en algunas zonas de las islas mexicanas de Guadalupe y Los Cedros.

El carácter relicto de esta especie, como la de otras afines del grupo de pinos de piña cerrada de California ha sido puesto de manifiesto reiteradamente, sugiriéndose que las masas actuales son las supervivientes de un antiguo bosque con robles, laureles y palmas que se desarrollaba bajo un clima templado en el Pleistoceno. En las masas continentales es raro el ejemplar alejado más de 11 km de la costa, totalizando una variación longitudinal de 209 km, entre los 37° y los 35° 30' N. Por su parte Guadalupe y Los Cedros están, respectivamente, a 740 y 908 km al sur de Cambria (McDonald y Laacke, 1990).

El clima representativo del hábitat natural de la especie es de tipo mediterráneo, muy atemperado por su cercanía al litoral y por las nieblas estivales que son producidas por las corrientes frías marinas que descienden hacia el sur a lo largo de toda la costa (Scott, 1961).

Según McDonald y Laacke (1990) las condiciones climáticas medias en el litoral continental son:

- Una precipitación media anual de gran variabilidad interanual, que disminuye de norte a sur entre 890 y 380 mm, con un máximo invernal, y ausencia de lluvias en Julio y Agosto.
- Alta humedad relativa, mínimas del orden del 60-70%, y numerosos días con niebla en verano e invierno, que producen precipitaciones horizontales de hasta 15 mm/semana en las elevaciones costeras.
- Escasa oscilación térmica anual, con temperaturas medias anuales de 9-11°C y 16-18°C en los meses de invierno y verano respectivamente.
- Temperaturas extremas de -5 y 41°C, con 300 días libres de helada al año. No se producen nevadas ni granizos.

El clima en las islas también es de tipo mediterráneo, pero más seco y con mayor oscilación térmica. En ellas, la niebla es un factor aún más crítico para determinar la presencia de *Pinus radiata* tanto en las altas laderas del noreste, más expuestas a su influencia, como en el fondo de los barrancos, ya la precipitación vertical puede llegar a ser tan sólo de 150 mm.

Las masas continentales crecen sobre colinas de pendientes moderadas, prefiriendo las exposiciones septentrionales según disminuyen las precipitaciones al desplazarnos hacia el sur. Las altitudes son bajas, desde el nivel del mar hasta 305 m (McDonald y Laacke, 1990). Las masas de las islas se desarrollan sobre pendientes suaves a fuertes, en exposiciones norte o noreste, e incluso en barrancos protegidos donde pueda quedar retenida la niebla. La altitud depende también de la precipitación horizontal, de 300 a 1.100 m en Guadalupe, y de 257 a 640 m en Los Cedros (Libby *et al.*, 1968).

El substrato litológico sobre el que se asientan estas masas forestales es muy variado: esquistos y areniscas marinas sobre una base calcárea densa en Año Nuevo, esquistos, granitos y dunas de arena en Monterrey, y areniscas silíceas en Cambria (Scott, 1961; McDonald y Laacke, 1990).

Las características generales de los suelos generados en las litologías sobre las que se asientan estas masas forestales son: (Úbeda, 1974; McDonald y Laacke, 1990)

- Texturas francas, arenosas o arcillosas, según se consideren areniscas y granitos, o esquistos.
- Suelos profundos en pendientes moderadas, generalmente bien drenados.
- Acidez elevada, incluso inferior a 5 en muchos casos.
- Acumulación de una capa de mantillo de varios centímetros, formada fundamentalmente por hojas en descomposición y otros restos orgánicos.

El cortejo florístico que acompaña las representaciones de esta especie en su hábitat natural también es muy variable. Como consecuencia de la gran amplitud latitudinal de su distribución, la flora asociada depende básicamente de la zona que se considere. Ésta puede ser resumida de la forma siguiente:

- Las masas de Año Nuevo (también llamado Swanton), pueden ser puras, en espesura casi completa, de hasta 740 pies/ha, o mezclarse con *Pseudotsuga menziesii*, *Sequoia sempervirens*, *Pinus attenuata*, *Pinus ponderosa*, *Quercus agrifolia* y *Arbutus menziesii*.
- En Monterrey, los pinos insignes se asocian a *Quercus agrifolia*, *Cupressus macrocarpa*, *Cupressus goveniana* y *Pinus muricata*. *Quercus agrifolia* es normalmente relegado al sotobosque, junto a diversas especies de matorral y herbáceas que dependen del estado evolutivo del bosque. En masas maduras de unos 45 años, la densidad es inferior a 200 pies/ha, y va disminuyendo paulatinamente conforme la masa envejece. Cuando la edad es de unos 65 años y la densidad inferior a 120 pies/ha, puede empezar a aparecer regenerado en las masas, formándose dos clases de edad (Vogl *et al.*, 1977).
- En Cambria, *Quercus agrifolia* es la única especie arbórea que acompaña al pino, formando un subpiso en masas abiertas.
- En las islas la vegetación es menos conocida; *Quercus tomentella*, la palma *Erythea edulis* y plantas herbáceas se asocian al pino en Guadalupe, mientras que en Los cedros se acompaña de *Pinus muricata*, *Yucca* sp. y *Opuntia* sp.

En la regeneración de estos bosques parece jugar un papel relevante el fuego, accidental o provocado para la generación de pastos, sobre todo en las manchas más

septentrionales, donde este pino probablemente adopta un papel serial de los bosques climáticos de *Pseudotsuga menziesii* y *Sequoia sempervirens*. Sin embargo, masas adultas abiertas, con regenerados bajo cubierta que traspasan el subpiso de *Quercus agrifolia*, han sido descritas en Monterrey y Cambria (Scott, 1961; McDonald y Laacke, 1990).

## I.2.2. Repoblaciones

### I.2.2.1. Introducción, expansión y distribución superficial

Diversas razones han propiciado que *Pinus radiata* se haya convertido en la conífera exótica más plantada en el mundo: (Scott, 1961; Lavery, 1986) su gran crecimiento sobre climas templados húmedos; la versatilidad de su madera, apta para diversos usos industriales; la posibilidad de recolectar grandes cantidades de semilla y su fácil propagación; la relativa diversidad genética dentro de sus poblaciones naturales, que pueden proporcionar genotipos adecuados para ambientes distintos; su adaptabilidad a medios diferentes sin grandes mermas de producción (plasticidad); la relativa ausencia de plagas o enfermedades graves que impidan su desarrollo en áreas extensas; y su flexibilidad selvícola, es decir, la posibilidad de practicar distintas selviculturas sin que la producción quede afectada ostensiblemente.

Dadas las cualidades enumeradas, no es extraño que la propagación de esta especie se haya realizado con tanta celeridad. Tras algunos intentos, se empezó a cultivar en Inglaterra en 1833 a partir de especímenes recogidos por el explorador escocés David Douglas en Monterrey. A España, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda llega a mediados del siglo XIX, iniciándose los primeros programas de repoblación de la especie a finales de dicho siglo, cuando se introduce en Chile, donde su masiva propagación no comienza hasta el primer tercio del siglo XX.

La primera referencia española conocida procede del arboricultor vasco Adán de Yarza, que introduce la especie en su parque de Zubieta, cerca de Lequeitio, a mediados del siglo XIX. Posteriormente, su hijo se encarga de realizar pruebas en terrenos forestales, y su nieto de promocionar su plantación entre los propietarios de montes (Adán de Yarza, 1913). A principios del siglo XX se reconoce la inexistencia de viveros que puedan comercializar las plantas de esta especie en el País Vasco por lo novedoso y la carestía de su semilla. Años más tarde, en el País Vasco se producen dos grandes fases de repoblación, una a mediados de los años 20 y otra mucho más intensa en la década de los 40.

En Galicia, después de iniciado su cultivo como ornamental a mediados del XIX (Areses, 1952), este pino es ensayado como especie de reforestación a principios de siglo pasado por D. Rafael Areses, y se introduce en los planes de repoblación que impulsa el presidente de la Diputación de Pontevedra D. Daniel de la Sota en 1927, por medio de consorcios con los Ayuntamientos (Ruiz, 1980).

Los espectaculares resultados de crecimiento obtenidos en muchas repoblaciones (Echevarría y De Pedro, 1956), traen consigo el que esta conífera se convierta en una de las principales especies a propagar en las labores de plantación forestal de la posguerra, y así fue recogido, por ejemplo, en las bases del consorcio que la Diputación de A Coruña firma en el año 1941 con el Patrimonio Forestal del Estado. La mayor parte de las plantaciones realizadas en virtud de estos consorcios, datan de

los años 50-70, seguramente por motivos de disponibilidad presupuestaria para llevarlas a cabo.

La evolución de la extensión superficial del cultivo de esta especie, puede rastrearse a través de los autores que han realizado revisiones bibliográficas. A principios de los 60, Scott (1961) realiza una estimación de las plantaciones existentes en los principales países productores, llegando a totalizar 620.000 ha. A mediados de los 80, Lavery (1986) publica una nueva estadística procedente de diversas fuentes, en la que calcula un total de tres millones de hectáreas, casi cinco veces las estimadas por Scott. Finalmente, se estima que la totalidad de la superficie mundial llega a ascender a algo más de cuatro millones de hectáreas a finales del pasado siglo, debido fundamentalmente al aumento producido en Nueva Zelanda, Chile y Australia (Sánchez Rodríguez, 2001).

Lógicamente, no se espera este ritmo de crecimiento a largo plazo porque se van agotando las posibilidades de nuevas zonas para la especie, pero da una idea de la pujanza y vitalidad económica que se genera con su silvicultura.

En España esta especie se ha propagado principalmente por la cornisa cantábrica, aunque se introdujo en muy variados lugares, como por ejemplo, en los actuales Parques Nacionales de Garajonay (donde se encuentra en fase de eliminación por su carácter exótico) y Las Cañadas del Teide, así como en la Serranía de Ronda (Málaga).

El segundo Inventario Forestal Nacional (DGCONA, 1998) señala la existencia de 287.771 ha, distribuidas tal y como se refleja en la Tabla I.1.

**Tabla I.1: Superficie total de *Pinus radiata* según el 2º I.F.N.**

Comunidad Autónoma	Extensión Superficial (ha)	Comunidad Autónoma	Extensión Superficial (ha)
Navarra	8.890	Canarias	3.635
País Vasco	162.837	Andalucía	3.575
Cantabria	16.880	Castilla y León	2.899
Asturias	16.257	Cataluña	662
Galicia	71.883	Otras	153

Se esperan algunos cambios una vez que se conozcan los datos del tercer inventario para toda España. En Galicia, por ejemplo, se ha constatado un desplazamiento de la superficie de esta conífera al interior de la comunidad, principalmente a la provincia de Lugo, que actualmente contiene más del 75% de los pies de la especie (Sánchez Rodríguez, 2001). En Castilla y León se ha producido un fuerte incremento del área plantada en El Bierzo al amparo de los programas europeos de reforestación de tierras agrarias y de restauración de terrenos mineros. La superficie en El Bierzo (León) se estima entre 13.000 y 15.000 ha (Fernández Manso *et al.*, 2002). Reducciones pueden esperarse en Canarias, Andalucía y otras como consecuencia de programas de eliminación de la especie dado su carácter exótico.

Los factores que limitan la extensión de esta conífera son su limitada resistencia al frío, la carencia de precipitaciones o a una irregularidad excesiva en su distribución anual, y unas condiciones demasiado cálidas y húmedas u otros eventos meteorológicos que propicien la propagación de enfermedades criptogámicas.

Han sido frecuentes los comentarios sobre la susceptibilidad de este pino a plagas y enfermedades, incluso como sólido argumento para evitar su repoblación en amplias zonas. Con elocuencia al respecto se manifiestan Echevarría y De Pedro (1956), indicando el mal estado de las masas de pino insigne cuando se planta en terrenos pobres o de escaso fondo, y en exposiciones azotadas. Scott (1961) llama la atención sobre las exigencias edáficas de esta especie, tanto en su área natural como en otras exóticas, considerándose de los pinos más exigentes en cuanto a necesidad de nutrientes de los suelos.

Se cree que en las zonas de climas apropiados fue su introducción sobre unas malas condiciones del suelo lo que propició daños graves por ataques fúngicos, y no ha sido hasta posteriormente, con una mejor comprensión de los requerimientos edáficos de esta especie, cuando su cultivo se ha extendido con seguridad (Lavery, 1986).

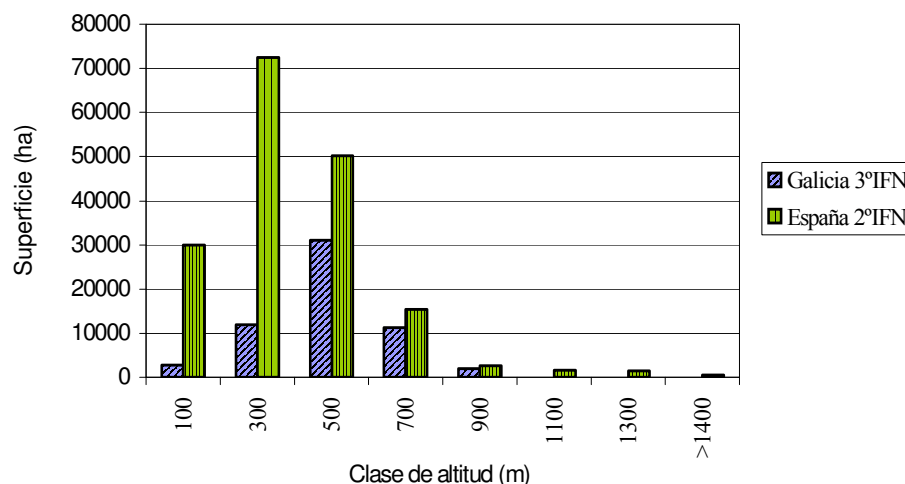
#### I.2.2.2. Tipología de las masas españolas

La tipología que se propone atiende en primer lugar a los ámbitos fitoclimáticos expuestos por Allué (1990), y en un segundo grado a las condiciones climáticas locales y a la naturaleza del suelo. Con ello se pretende seguir el orden jerárquico de los factores ambientales que inciden en la productividad de las especies forestales, y que se ha visto corroborado reiteradamente en los estudios de autoecología de esta especie a gran escala espacial (Jackson y Gifford, 1974; Gandullo *et al.*, 1974; Hunter y Gibson, 1984; Gerding y Schlatter, 1995 etc.).

##### > *Masas cantábricas*

Masas del norte peninsular sobre fitoclimas de bosques nemorolauroides oceánicos de planicaducifolia obligada VI(V).

Constituyen la mayor parte del área de distribución de la especie, abarcando toda la cornisa cantábrica desde la cuenca del Bidasoa. El clima es menos extremado en el occidente por no estar tan expuesto a las corrientes frías continentales y tiene menor innivación, temperaturas mínimas absolutas superiores, etc., por lo que esta especie alcanza cotas más elevadas en Galicia y el occidente Asturiano (hasta los 1000 m) que en Navarra y el País Vasco (600-800 m). La figura I.1, que compara los histogramas de frecuencias por clases de altitud de la superficie de la especie en Galicia y España refleja este aserto, por cuanto la moda para el conjunto español se encuentra en la clase 300 m, mientras que en Galicia es la clase de 500 m la que reúne mayor superficie.



**Figura I.1: Distribución de la superficie de *Pinus radiata* D. Don en España y Galicia por clases de altitud.**

La mayor parte de las masas de *Pinus radiata* proceden de repoblaciones realizadas sobre matorrales de degradación de bosques de roble común, y ocasionalmente de rebollos, robles de montaña y hayas. En menor medida han sustituido praderas y otros cultivos, aunque la plantación sobre estos terrenos sea más común actualmente por el abandono de la actividad agraria.

Como es conocida la dependencia de la productividad de esta especie con la altitud, la temperatura media anual y la temperatura media del mes más frío (Gandullo *et al.*, 1974), puede emplearse un índice térmico o una cliserie altitudinal para clasificar estas masas (**colinas**, **montanas** y sus correspondientes subtipos).

Se desarrollan sobre una gran variedad de tipos de suelo, siendo los más frecuentes, según sea el grado de desarrollo del perfil, los *Leptosoles*, *Regosoles* y *Cambisoles* de diversa naturaleza (*úmbricos*, *dístricos*, *eútricos*, *gleicos*, *réndricos* etc.). El régimen de humedad del suelo es *údico*, con menos de 45 días secos al año. Dada la relativa homogeneidad climática dentro de un mismo piso altitudinal, los pinares de insigne cantábricos pueden subdividirse también en masas **oligótrofas** y **mesoeútrofas**.

Las primeras se asientan sobre suelos fuertemente ácidos ( $\text{pH} < 5$ ), con un complejo de intercambio catiónico altamente insaturado ( $\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < 2-3$  meq/100 gr), y cierta dificultad en la mineralización de la materia orgánica ( $\text{Ns} > 0,3\%$ ). Los valores anteriores, obtenidos a partir de los datos de Gandullo *et al.* (1974), son medias referidas a los 15 cm superficiales del suelo. Los suelos se generan a partir de rocas de naturaleza ácida (cuarcitas, granitos, pizarras, esquistos ácidos, etc.), o materiales básicos (anfíbolitas, gneises y esquistos básicos, etc.), que, aún ofreciendo mejores condiciones de fertilidad para la especie, han sido sometidos a un intenso proceso de alteración y lavado. Estas masas son mucho más frecuentes en Galicia y el Occidente Asturiano, sobre todo en los suelos de monte sobre los que no se han practicado correcciones de acidez y fertilidad.



Las **masas mesoeútrofas** son menos abundantes que las anteriores. La acidez actual se encuentra próxima a la óptima para la especie (pH=6 según Hunter y Gibson, 1984), presentan una mayor saturación de bases en el complejo de cambio y menor porcentaje de nitrógeno total. Se desarrollan sobre rocas carbonatadas o ricas en bases (calizas, margas calizas, dolomías, ofitas, basaltos, etc.), o suelos agrarios abandonados, y son más frecuentes en la mitad oriental del área cantábrica de distribución de la especie.

Existen algunos rodales sobre un subtipo propio de las rías bajas gallegas con gran tendencia mediterránea VI (IV<sub>3</sub>). Situados sobre granitos y sometidos a una mayor intensidad de sequía estival, son más dependientes de la profundidad efectiva del suelo y su posición en la ladera determina su capacidad productiva. Se encuentran en regresión ante el empuje de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster*.

► *Masas bercianas y afines*

Masas del norte peninsular sobre ambientes mediterráneos de transición, fitoclima nemoromediterráneo de planicaducifolia obligada marcescente VI (IV<sub>2</sub>).

Las masas del Bierzo (Vega de Espinaredo, Cubillos del Sil, Sancedo, etc.) son plantaciones relativamente recientes sobre terrenos que soportaban cultivos abandonados y matorrales de degradación de rebollares. Se encuentran a una altitud media superior a las cantábricas (781 m), recibiendo una precipitación media anual entre 700-900 mm. Crecen en suelos de escasa pendiente (<20%) sobre sustratos de variada naturaleza (Fernández Manso *et al.*, 2002). Soportan sequía estival entre 2 y 3 meses (según el criterio de Gaussen), y reciben una precipitación estival reducida, aunque superior a 15 mm (Allué, 1990). El régimen de humedad en el suelo es *Xérico* (más de 45 días seco), a diferencia del *Údico* del tipo anterior.

Dentro de este tipo pueden incluirse algunos rodales Orensanos mediterráneos. En gran parte proceden de plantaciones realizadas por la administración forestal, que combinaba a modo de ensayo esta conífera con *Pinus pinaster*. Como en el caso anterior, la disponibilidad hídrica, en cuanto a capacidad de retención de agua en el suelo, y la profundidad arraigable, determinarán la productividad.

► *Masas en otros ambientes mediterráneos*

Existen algunas masas de reducida extensión superficial en el área sublitoral septentrional catalán (fitoclima VI (IV)<sub>4</sub> de planiperennifolios), en la vertiente sur de la Serranía de Ronda (fitoclima IV<sub>4</sub> de bosques ilicinos exclusivos menos secos), y en Canarias (principalmente en Tenerife), sobre un clima de tipo mediterráneo de inviernos tibios (IV<sub>2</sub><sup>1</sup> de bosques planiperennifolios esclerófilos subtropicales).

Las masas malacitanas, unas 2450 ha en 1986, se encuentran en los alrededores de las localidades de Pujerra, Júzcar y Faraján entre 800 y 1000 m de altitud, sobre gneises y micacitas, recibiendo una precipitación media anual de unos 1000 mm. Se han medido crecimientos medios anuales próximos a los 10 m<sup>3</sup>/ha a los 20 años de edad (Álvarez Calvente. en Madrigal, 1992 ).

Las repoblaciones canarias, unas 3635 ha en 1986 según el 2º IFN, se encuentran casi en su totalidad en el norte de la isla de Tenerife, mayoritariamente entre los 1000 y 1400 m (Madrigal, 1992). Los rodales existentes en el Parque Nacional de Garajonay (La Gomera), dentro del piso de laurisilva, ya han sido prácticamente eliminados por su carácter alóctono (Fernández López com. pers.). Las masas Tinerfeñas están totalmente rodeadas de *Pinus canariensis*, aunque en las zonas más bajas se aprecian restos de especies propias de la laurisilva canaria (Madrigal *et al.*, 1989). El matiz subtropical del clima, el carácter volcánico de los substratos litológicos sobre los que medran estos rodales y la elevada precipitación horizontal existente provocada por los vientos alisios, son características propias que los diferencian claramente del resto.

### I.2.2.3. Síntesis ecológica

El trabajo de Gandullo *et al.*, (1974), posteriormente perfeccionado y sistematizado para el resto de los pinos españoles (Gandullo y Sánchez Palomares, 1994), sigue siendo la referencia obligada respecto al conjunto de las masas cantábricas, para la descripción ecológica del hábitat “actual” de la especie y de los factores ambientales que inciden en su productividad.

Así, Gandullo y Sánchez Palomares (1994) definen el hábitat “actual”, que acoge el 80% de los valores de cada parámetro, como el caracterizado por:

- Un piso bajo (ALTI<500 m preferentemente) y pendientes fuertes (PND>15%) bajo cualquier orientación, salvo solanas más abruptas.
- Un clima muy húmedo (PT>1200 mm), con estaciones húmedas (PI, PO, PP>300 mm), a excepción del verano que se considera subhúmedo (150<PV<200).
- Un clima mesotérmico (media de ETP entre 600 y 700 mm, con el umbral inferior entre 550 y 650 mm, y el superior entre 700 y 800mm), oceánico (media de OSC<13° C), templado (media de TA entre 11,5 y 13,5, y umbral inferior entre 9,5 y 11), de veranos tibios (TMC<19° C), e inviernos frescos (media de TMF entre 5 y 9° C, umbral inferior entre 3 y 6° C, y el superior entre 8 y 12° C).
- Un régimen hídrico axérico (media de IH>60, umbral inferior mayor de 20, y superior mayor de 100), hipersuperante (media de SUP>600 mm, umbral inferior mayor de 300 mm, y el superior mayor de 1000 mm), deficitario (media de DEF<150 mm, umbral inferior menor de 50 mm, y el superior menor de 250 mm), y sin sequía (media de DSQ<1 mes, umbral inferior nulo, y superior menor a 2 meses).
- Suelos de pedregosidad variable (TF entre el 29 y el 95%), de textura franca a franco-limoso-arcillosa (ARE entre el 10 y el 50%, ARC entre 10 y 40%, y LIM entre 25 y 60%), de permeabilidad y capacidad de retención de agua muy variables y humedad equivalente media a alta (entre 20 y 40%).
- Suelos de poco a muy húmíferos (MO entre 2 y más de 7,5%), de fuerte a moderadamente ácidos (PHA<6,5), sin caliza activa (CA=0%) y regolito silíceo o calizo totalmente descarbonatado.
- Una productividad potencial primaria muy elevada (media de ETRM>625 mm con límite inferior superior a 550 mm), con sequía fisiológica que no llega a causar estrés a la vegetación arbórea (SF<100 mm).

La descripción indicada puede considerarse válida para el conjunto del norte de España, donde se encuentran la mayor parte de las masas de *Pinus radiata*, pero conviene no asumirla automáticamente allí donde la especie no se encontraba plenamente consolidada cuando se acometió el estudio de Gandullo y Sánchez Palomares (1994). Tal es el caso de Galicia, cuyo hábitat fisiográfico difiere del descrito, tanto por la altitud, como se indicó antes, como por la pendiente (el 75% de las masas gallegas se sitúan en pendientes inferiores al 20% según el último inventario: XUNTA DE GALICIA, 2001). Tampoco es posible extender este hábitat a repoblaciones de más o menos reciente aparición, como sería el caso del Bierzo, ni a las del resto del ámbito de clima mediterráneo.

El hábitat de *Pinus radiata* presenta unas características propias que lo diferencian claramente del resto de los pinos hispanos, a excepción de la variedad atlántica de *Pinus pinaster*, que puede mostrar cierta tendencia a invadirlo (Gandullo y Sánchez Palomares, 1994). Este último muestra preferencia por suelos muy permeables (parámetro PER entre 3 y 5 que denota una marcada estenoicidad), y una sequía estival de mayor duración (media de DSQ de 1,6 meses).

Por ello, la combinación de un clima de influencia mediterránea, con rocas que proporcionen gran permeabilidad y texturas arenosas o franco-arenosas (cuarcitas, granitos y afines, etc.), sobre todo si son de grano grueso, favorecerán a *Pinus pinaster*, tal y como ocurre en la fachada atlántica peninsular, a diferencia de toda la vertiente cantábrica, con una sequía estival menor y presencia de rocas de grano fino.

Para el conjunto de las masas cantábricas, la productividad está determinada principalmente por su posición altitudinal. Con cotas bajas, que se corresponden con regímenes térmicos benignos, TMF de 8 y OSC cercana a 13 °C, se dispone de unas condiciones térmicas favorables para un largo periodo de crecimiento vegetativo.

Para que éste pueda materializarse se requieren en segundo lugar unas cuantiosas precipitaciones. Por ello, la calidad de estación se correlaciona también positivamente con la lluvia estival (PV), entre otros parámetros (ETP, ETRM, etc.). Asimismo, porcentajes de limo próximos a 55, bajos contenidos en arena y elevados de arcilla tienen una influencia positiva en la productividad, al generar suelos con elevada capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico. Una precipitación excesiva en invierno u otoño provocaría en último término efectos negativos al incrementar el drenaje (Gandullo y Sánchez Palomares, 1994).

A gran escala, las propiedades químico-nutritivas del suelo tienen una influencia menor que la derivada de los parámetros climáticos y de la física del suelo. A pesar de ello, Gandullo *et al.* (1974) encontraron una correlación débilmente significativa y de signo negativo entre el nitrógeno total y la calidad, y también, aunque ahora positiva, entre esta última y el calcio y magnesio de cambio.

Los parámetros químicos adquieren especial relevancia cuando se reduce el ámbito espacial del estudio o se consideran hábitats oligótrofos, típicos de paisajes envejecidos, sometidos a intensos procesos de alteración y lavado. Así, en suelos de monte gallegos la productividad se encuentra determinada por la cantidad de nitrógeno total y por la acidez del suelo, amén de por su profundidad efectiva; el estado nutricional del arbolado puede explicar la mayor parte de la variación del índice de sitio si se consideran profundidades de suelo superiores a 40 cm en un rango altitudinal de 300 a 800 m (Sánchez Rodríguez, 2001).

## II. REGENERACIÓN POR DISEMINACIÓN NATURAL Y REPOBLACIÓN FORESTAL

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

#### II.1.1. Fructificación

Tanto en su hábitat natural como en el norte de España, esta especie florece a finales de invierno o principios de primavera, no madurando las piñas hasta el otoño del año siguiente al de la floración (Ruiz de la Torre y Ceballos, 1979; McDonald y Laacke, 1990). Las variables que más influyen en la fructificación de esta especie son: edad, densidad, vigor y condiciones de iluminación del arbolado.

La edad a la que comienza a fructificar varía entre los 5 y los 10 años dependiendo de la espesura de la masa, pero no aparece una fructificación substancial hasta los 15 ó 20 años en masas con bajas densidades, y mucho más tarde si la espesura no es la adecuada (McDonald y Laacke, 1990).

*Pinus radiata* fructifica anualmente sin problemas, produciendo abundante semilla hasta muy avanzada edad (> 45 años) si las condiciones de fructificación son las adecuadas. En Monterrey (California), como ya se indicó, la regeneración de los bosques naturales de esta especie se produce a edades más avanzadas y con una densidad de 100 pies/ha.

En plantaciones, cuando la masa se cierra, la fructificación se reduce casi exclusivamente a los conos producidos en el fuste (Scott, 1961), por lo que, si se desea una producción abundante de semillas, será necesario un buen desarrollo de las copas que favorezca la aparición de flores femeninas.

La densidad de la masa afecta no sólo al desarrollo de las copas, sino también a la luz que reciben y a su aireación. Tanto la iluminación de las copas como el vigor del arbolado influyen directamente en la producción de conos (Scott, 1961).

#### II.1.2. Diseminación y germinación

El acusado carácter serótino de *Pinus radiata* es el factor que más afecta a la diseminación. Por un lado, sus piñas pueden permanecer cerradas durante varios años sin que la semilla pierda la viabilidad, pero también pueden abrirse y cerrarse varias veces dentro de este período, liberando en cada ocasión una porción de los piñones que contienen.

Las propiedades higroscópicas de las escamas de las piñas de esta conífera condicionan su apertura a unos periodos muy señalados del año, que dependen del clima de la localidad considerada. Así, la diseminación se produce en días cálidos y secos, a finales de invierno o principios de primavera en California, a partir de primavera en el norte de España, y en una pequeña fracción del verano en el sur de Australia (Ruiz De La Torre y Ceballos, 1979; McDonald y Laacke, 1990).

La cantidad de semilla liberada depende del grado de fructificación y de las condiciones climáticas en el momento de la diseminación y en los años anteriores. Si en alguno de ellos se han producido unas buenas condiciones de apertura, quedarán menos semillas almacenadas en las piñas del arbolado, y se producirá una menor diseminación en el año en curso. Por otro lado, la aireación y la iluminación de las

copas afectarán muy posiblemente al grado de apertura de las piñas y a la cantidad de semilla liberada.

Aparte de las condiciones climáticas, el fuego puede ser un factor determinante en la súbita liberación de grandes cantidades de semilla que puedan estar almacenadas.

Los piñones de *Pinus radiata* son capaces de germinar en condiciones muy variadas: sobre una espesa capa de acículas, en praderas o bajo las copas de *Quercus agrifolia* en Norteamérica. En cualquier caso, la destrucción de la materia orgánica sobre el suelo optimiza las condiciones para la germinación y el desarrollo de los brinzales, facilitando ambos procesos. Aunque el repoblado se desarrolla mejor a plena luz, puede soportar en los primeros estadios el asombrado de su propia especie o de este roble, al que sobrepasa con prontitud (McDonald y Laacke, 1990).

Ruiz de la Torre y Ceballos (1979) califica la diseminación de *Pinus radiata* en las plantaciones españolas de escasa e intermitente, lo que viene demostrándose en los sucesivos Inventarios Forestales Nacionales; sin embargo, en otros países la profusa regeneración de esta especie ha sido un inconveniente serio para el empleo de la repoblación por diseminación natural, al elevarse considerablemente los costes de los tratamientos posteriores (Scott, 1961).

### II.1.3. Tratamientos de regeneración

En el País Vasco Ruiz Urrestarazu (1989) señala que exposiciones a mediodía, control del sotobosque por pastoreo y masas muy aclaradas favorecen la regeneración natural.

Este autor relata las experiencias de un propietario forestal que empleaba un sistema de cortas en dos tiempos para conseguir la regeneración de la masa. Este selvicultor alavés, D. Bernardo de Mesanza, aclaraba las masas hasta una densidad de unos 100 pies/ha, momento en el que realizaba una fertilización y mejora de pastos bajo arbolado, que eran aprovechados por ganado vacuno. Transcurridos cinco años, limpiaba el sotobosque mediante gradeo o un ligero decapado con la cuchilla frontal de un tractor, lo que provocaba la regeneración, e inmediatamente enajenaba los árboles padre restantes (De Mesanza, 1985).

No se consideran irrelevantes ni la fertilización ni el lapso de cinco años que median desde ésta a la corta final, por el efecto que podrían tener en la cantidad de semilla producida, y porque en las comprobaciones realizadas con árboles apeados en Galicia se ha verificado que en gran número de ellos transcurren cuatro a cinco años hasta que comienzan a abrirse las piñas.

En Galicia, la regeneración de esta especie ha sido escasa, probablemente como consecuencia de la alta densidad a la que se han mantenido las masas. Se han producido repobladros por diseminación natural tras algunos incendios estivales de copa no muy intensos (Vega, 1977), tras cortas a hecho, bien como especie principal o como acompañante de *Pinus pinaster*, y tras claras en algunas masas de Cedeira y

Ribeira, cubriendo los pequeños huecos que se producen tras estas operaciones y formando así rodales con un subpiso de brinzales, de forma similar a como acontece en su hábitat natural.

En un monte en la península del Barbanza (A Coruña), de cierta influencia mediterránea, se estudió una profusa regeneración natural producida tras una corta a hecho y la subsiguiente trituración de los restos de corta de un rodal de 46 años de edad y 250 pies/ha de densidad expuesto al mediodía. Este trabajo reveló que el regenerado procedía casi exclusivamente de las piñas de los árboles apeados y no de la diseminación lateral de la masa. Se comprobó regenerado de dos fases sucesivas, una primaveral y otra otoñal, y una gran irregularidad en su densidad, de más de 3000 a 200.000 brinzales/ha (Gorgoso *et al.*, 2000).

En las décadas de los 50-60, se debatía frecuentemente sobre la conveniencia de regenerar naturalmente las masas de *Pinus radiata* frente a la repoblación por plantación. No obstante, los inconvenientes de la regeneración natural postergaron esta práctica; la dificultad de controlar la densidad del regenerado, los costes del clareo posterior, el menor crecimiento inicial que suponía un alargamiento de los turnos, la mayor complejidad de la operación, la excesiva competencia inicial que disminuía los diámetros de los pies, la incertidumbre sobre la obtención de suficiente regeneración en algunas estaciones y la imposibilidad de introducir material genético selecto, son los principales escollos a la hora de plantearse la opción de regenerar estas masas por diseminación natural.

Las principales ventajas de la regeneración natural proceden de ser un sistema generalmente más barato y con menores costes ambientales, además de proporcionar madera de mejor calidad.

Ya Scott (1961) y Rodger (1956) señalan que este método podría ser el adecuado en repoblaciones de baja productividad. Muchas masas de esta especie tienen estas características (un índice de sitio de 16 ó 17 m a los 20 años), y se desconoce si la productividad puede ser mejorada substancialmente con prácticas de fertilización.

Estas extensas plantaciones serranas de baja calidad se justifican por la diversidad de beneficios directos o indirectos que proporcionan a la colectividad: pastos, setas, recreo, paisaje, etc., y no exclusivamente por la productividad en biomasa leñosa que puedan generar. Por su falta de rentabilidad económica, la persistencia de estas masas podría verse muy comprometida, por lo que intentar conseguir una vía económica para su regeneración parece la alternativa más apropiada.

## II.2. TÉCNICAS DE REPOBLACIÓN

### II.2.1. Calidad de la planta

El sistema tradicional de obtención de planta de esta especie en Galicia, partía de la premisa de alcanzar una gran producción con el menor coste posible. Se pretendía promover que el agricultor plantara parte de sus tierras sin que le resultara gravoso económicamente, por lo que la planta podía ser incluso donada por la administración.

En la zona interior de Galicia, donde se producía la mayor parte de la planta, se sembraba en filas a alta densidad, y, pasado un año, se podaba la raíz principal introduciendo palas rectas de repicar bajo las mesas de siembra. La planta no estaba preparada para el monte hasta pasado otro año, teniendo para entonces generalmente dos savias. Esta planta no era excesivamente esbelta, debido a las difíciles condiciones de crecimiento, por lo que las características morfológicas de la parte aérea eran aceptables. La raíz, frecuentemente micorrizada, era ramificada pero no compacta, y generalmente estaba desequilibrada respecto a la parte aérea.

La planta empleada en el País Vasco y Navarra ha sido por lo general de mayor tamaño que la utilizada en Galicia, aún siendo la primera de una savia. Indudablemente este hecho se ha debido a unas mejores condiciones de cultivo y a una demanda más cualificada (con mayor tradición selvícola) en esta segunda zona. Por otro lado, los suelos de texturas pesadas y las buenas calidades de estación, más frecuentes en la parte oriental de la cornisa cantábrica, también han favorecido esta tendencia. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que una mayor altura y robustez, son condiciones necesarias para superar con rapidez la súbita competencia herbácea y del matorral (*Ulex* sp., *Pteridium aquilinum*, *Rubus* sp., etc.).

A principios de los 90, se introdujo en Galicia un moderno sistema neozelandés de producción de planta, que atiende a las actuales exigencias de la selvicultura respecto a la calidad del material empleado en las plantaciones según los estándares neozelandeses (F.R.I., 1988).

Este sistema se basa en espaciar convenientemente la siembra a 12,5 cm entre hileras y a 5-6 cm entre plantas (se requiere más espaciamiento cuanto mayor sea la robustez que se desee obtener), realizarla en las condiciones de fertilidad adecuadas, y llevar a cabo un programa de poda de raíces. El objetivo es desarrollar un sistema radical compacto y bien ramificado. Para ello, a partir del verano y hasta el invierno, se repica la planta cada tres semanas, y se podan lateralmente las raíces cada seis. Cuidando además la fertilidad del semillero y con los riegos oportunos, ha de conseguirse planta de una savia con las dimensiones requeridas.

Pese a su eficacia, esta técnica de cultivo ha sido abandonada recientemente por falta de auxilios públicos en las repoblaciones de esta especie, no obstante, la técnica de cultivo ha dejado su impronta en técnicos y viveristas.

El último método de producción de planta promocionado para el *Pinus radiata*, ha sido el empleo de plantas en contenedor; sin embargo, su uso ha ocasionado problemas derivados del enrollamiento de las raíces y el estrangulamiento de las plantaciones, que generaban un estado sanitario deficiente y marras frecuentes.

Al margen de lo visto anteriormente, uno de los factores que más influyen en la calidad de la planta de repoblación es su genotipo. Los planes de mejora genética de esta especie se iniciaron en Australia y Nueva Zelanda en los años 50 y hoy en día existe producción y comercialización de semilla mejorada en estos países oceánicos y en Chile. En el País Vasco, se inició el programa de mejora en el año 1985, con la selección de árboles plus y la posterior instalación de un huerto semillero (Michel, 1988). En Galicia, el plan de mejora de esta especie es inmediatamente posterior al vasco, habiéndose instalado un huerto semillero en Sergude (A Coruña).

Las ganancias estimadas en volumen de producción dependen del grado de mejora del material vegetal. El instituto de investigación forestal neozelandés ha estimado una ganancia en volumen de hasta el 32% para los grados de mejora comerciales superiores; el material que se emplea con mayor frecuencia actualmente supondría ganancias del 15 al 20% (F.R.I., 1987).

Otras mejoras interesantes derivadas de la selección genética son el aumento del porcentaje de fustes aceptables en la plantación (un 70%, frente a sólo un 45% de una plantación sin material selecto), y la obtención de líneas resistentes a enfermedades criptogámicas o de larga longitud internodal.

La planta empleada en las repoblaciones de esta especie procede casi siempre de semilla, pero también es posible utilizar estaquillas convenientemente enraizadas (Rodríguez y Vega, 1993). Este procedimiento permite ampliar cuantitativamente las posibilidades reproductivas de material muy selecto de alto valor genético.

En Nueva Zelanda el 11% de las plantaciones se ejecutan con estaquillas de material genéticamente superior y fisiológicamente envejecido (Maclaren, 1993), y en el País Vasco se está desarrollando un plan de producción de 500.000 estaquillas juveniles anuales con semilla procedente de huerto semillero (Espinel y Aragonés, 1997).

#### II.2.2. Preparación del sitio de plantación

Una correcta preparación del área de plantación es necesaria para lograr una buena tasa de supervivencia de las plantas, una masa uniforme y un buen crecimiento medio; también resulta útil para reducir el riesgo de incendios, por la necesidad de controlar el sotobosque, y los derribos por el viento, así como para facilitar los tratamientos selvícolas posteriores (Maclaren, 1993).

Sin embargo, la preparación del terreno debe ser lo suficientemente económica como para que no quede comprometida la rentabilidad de la inversión. Así, se estima que no ha de sobrepasar unas pocas decenas de miles de pesetas (unos pocos cientos de euros), ya que, al realizarse al comienzo del turno, tiene una gran incidencia sobre los márgenes financieros.

No existe un sistema de preparación del sitio de plantación que se adapte a todos los tipos de suelo, clima, vegetación preexistente y condiciones fisiográficas presentes en las zonas donde se repuebla con esta especie. Sin embargo, el método más empleado consiste en la combinación de la trituración del matorral o los restos de corta mediante desbrozadora de cadenas de eje vertical, con un subsolado lineal profundo.

El subsolado mejora el drenaje del suelo, permite un mayor crecimiento de las plantas, por facilitar el crecimiento de las raíces, y aumenta la tasa de supervivencia y la estabilidad de la plantación. Así mismo, durante el desarrollo de la plantación, el subsolado facilita las operaciones y determina la distancia entre las líneas del repoblado. Lo mejor es realizarlo con tiempo seco unos meses antes de plantar, para conseguir una ligera recompactación del suelo que va a servir de asiento a las plantas. Puede hacerse lineal o cruzado, estimándose que la profundidad óptima es de 60 cm.



En ocasiones será obligado un acaballonado del terreno. No obstante, debe estudiarse con detenimiento la necesidad de esta operación, dado que dificulta la ejecución de los aprovechamientos forestales y puede tener efectos negativos en el suministro de nutrientes al arbolado.

### II.2.3. Manejo de restos de corta

Las diferentes técnicas de preparación del suelo y de manejo de los restos de corta pueden tener una incidencia notable en la descomposición y mineralización de los propios restos de corta y de la materia orgánica del suelo, en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes y, en definitiva, en la conservación de la capacidad productiva del sitio.

Si la orografía lo permite, lo común suele ser dejar los restos fragmentados mecánicamente sobre la superficie antes de subsolar el terreno. Esta técnica presenta algunas ventajas:

- Previene parcialmente del desarrollo de la vegetación adventicia competitiva, con lo que la concentración de nutrientes en el suelo tras la corta resulta ser superior.
- Aumenta también la disponibilidad de agua para las jóvenes plantas, como consecuencia de la capacidad de retención de agua de los restos y la disminución de la evaporación (Pérez Batallón *et al.*, 2001).
- La fragmentación de los restos, de alta proporción C/N y baja disponibilidad de N, origina una mayor propensión a la inmovilización microbiana del nitrógeno, lo que permite una liberación más gradual de los nutrientes (Pérez Batallón *et al.*, 2001).
- Por su economía permite orientar los esfuerzos de inversión hacia otras tareas, tales como el control de la vegetación por aplicación de fitocidas, la fertilización inicial en el punto de plantación, la mejora de la calidad genética de la planta, etc.

La fragmentación e incorporación posterior de los restos de corta al suelo, empleando por ejemplo una grada de discos, aumenta notablemente la tasa de descomposición de acículas y ramillos, y conduce a una mayor liberación de nutrientes (Ouro *et al.*, 2001), acompañada de un incremento considerable de la biomasa microbiana (Pérez Batallón *et al.*, 2001). Este incremento, junto con el rápido desarrollo de la vegetación adventicia, puede evitar la pérdida de nutrientes por lavado tras la corta; sin embargo, éstos quedan a disposición de la vegetación, que ejercerá una fuerte presión competitiva sobre las plántulas.

La extracción de los restos de corta o su utilización en la formación de caballones junto con el mantillo y los tocones, puede causar reducciones considerables en el suministro de nutrientes en los años posteriores a la corta (Merino y Edeso, 1999). Ello puede originar problemas de deficiencias nutricionales en suelos con bajas tasas de reposición por sus reducidos niveles de fósforo asimilable y cationes de cambio, e incluso de nitrógeno por la pérdida de la materia orgánica. Además, la aplicación de esta técnica puede generar elevadas tasas de erosión si se lleva a cabo sobre terrenos con fuerte pendiente, como es el caso de muchos pinares vascos (Edeso *et al.*, 1999).

El apilado y quema de restos (sorrapeo), concentra grandes cantidades de nutrientes en áreas reducidas, e incrementa su disponibilidad a corto plazo. El sorrapeo produce un efecto notable en el crecimiento de las plantas de las áreas de quema en los suelos ácidos del noroeste (Bará, 1990). Sin embargo, esta técnica tradicional presenta algunos inconvenientes; unos de índole práctico: requiere un gran esfuerzo en mano de obra y una cuidadosa ejecución para evitar la propagación no deseada del fuego; y otros de cariz más teórico: pérdidas netas de nutrientes por lixiviación, volatilización y escorrentía, sobre todo con pendientes elevadas (Soto *et al.*, 1995).

La retirada de los restos o el aprovechamiento total del árbol pueden conducir a elevadas pérdidas de algunos nutrientes. Aunque la proporción de biomasa en fustales de *Pinus radiata* es del orden del 75 % del total del árbol (sin contar raíces), el porcentaje de nutrientes es inferior a este valor (Bunn y Will, 1973; Ouro *et al.*, 2001; etc.). Además, los nutrientes que contienen los residuos de corta (ramas, ramillos y acículas), pueden significar una cantidad muy elevada comparada con la contenida en el horizonte orgánico y la disponible en la capa superficial del suelo, especialmente en el caso de calcio y fósforo. Para este último nutriente, la exportación sería mucho mayor que la disponibilidad en la capa superficial del suelo (Ouro *et al.*, 2001).

### **III. TRATAMIENTOS PARCIALES**

#### **III.1. DESBROCES**

La eliminación de la vegetación competidora con las jóvenes plantas es una operación necesaria para conseguir que la repoblación forestal tenga el éxito deseado. La mayor parte de las especies que componen el matorral atlántico (tojós, brezos, etc.) y las herbáceas presentes en las praderas, son capaces de ejercer una fuerte competencia por la luz, el agua y los nutrientes necesarios para el repoblado. La intensidad de esta competencia está determinada en gran medida por el estado previo del sitio de repoblación y por el sistema de preparación del suelo que en ella se emplee. En cualquier caso, estudios de investigación han constatado cuantiosas reducciones de crecimiento y supervivencia de las plantas en parcelas sin control del sotobosque respecto a aquéllas tratadas con herbicidas (F.R.I., 1981).

El sistema tradicional de control del matorral, ha sido la práctica de rozas en vuelta en cada punto de plantación, operación manual y consecuentemente cara, que se llevaba a cabo el número de veces que fuera necesario para librar a las plantas de una competencia muy agresiva. Así mismo, la presencia de un denso helechal (*Pteridium aquilinum*) podía obligar a reiterar la roza en repetidas ocasiones hasta que las plantas pudieran superar el asombrado producido, ya que en caso contrario éstas crecían deformes en busca de los huecos de luz existentes.

En general, las preparaciones agresivas reducen la presencia de especies competidoras, pero aumentan los costes de preparación y tienen indudables impactos sobre el suelo y su fertilidad, además de dificultar la movilidad de personas y

maquinarias en ciertos casos. No obstante, una planificación adecuada de la repoblación, puede permitir el acceso de desbrozadoras mecánicas entre las líneas de plantación, lo que disminuye los costes de la mano de obra necesaria para alcanzar los pies, tanto en las rozas en vuelta como en las podas.

La aplicación puntual (o en bandas) de herbicidas en el área de plantación, solventa la necesidad de la roza manual y elimina la competencia subterránea de las raíces, por lo que es más persistente y eficaz además de economizar en mano de obra. Lo más frecuente últimamente ha sido el empleo de glifosato, herbicida no selectivo que obliga a la aplicación anterior a la plantación, o a proteger las plantas en el momento de su aplicación. Otros herbicidas selectivos son muy infrecuentes a pesar de que se ha demostrado su eficacia (Maclaren, 1993).

### III.2. CLAREOS

Los clareos son cortas no comerciales que se ejecutan en los primeros estadios de desarrollo del arbolado con dos finalidades principales: selección del arbolado y conducción de la masa principal, rebajando su densidad, a unos valores deseados. Los clareos pueden también mejorar la sanidad de la masa, eliminando pies enfermos o decrepitos que fomentan la propagación de plagas y enfermedades. La reducción de la competencia era un objetivo prioritario en las plantaciones que se realizaban a elevadas densidades, hoy en día nada habituales.

El clareo de la masa, si se lleva a cabo, se suele simultanear con la poda de penetración en los esquemas progresivos habituales, es decir no se lleva a cabo antes de que la altura media alcance los 5-6 m.

No obstante, la primera decisión a tomar corresponde a postergar o no esta rebaja de densidad. El retraso es posible si (Maclaren, 1993):

- El aumento de producción compensa el menor diámetro de la masa final,
- Existe un mercado que demanda madera de pequeño diámetro,
- Los costes de saca de los productos del clareo son aceptables
- La masa no tiene peligro de inestabilidad por fuertes vientos o nevadas

La necesidad de controlar el sotobosque por elevados riesgos de incendio, influye también positivamente en aceptar este retraso, o al menos en que el clareo sea muy débil.

Las condiciones gallegas, que coinciden con las reseñadas anteriormente, favorecen la práctica de esquemas con clareos retrasados ; por el contrario las vascas, generalmente con fuertes pendientes y costes de saca más elevados, hacen más adecuada una densidad inferior desde edades tempranas.

La densidad de la masa después del clareo puede variar entre 900 y 1500 pies/ha en los esquemas progresivos (Sánchez Rodríguez, 2001). Este amplio abanico determina el estilo de selvicultura practicado y el tipo y cuantía de la producción.

### III.3. CLARAS

Estas cortas de mejora son imprescindibles a fin de guiar al rodal hacia unos objetivos productivos predeterminados. Con ellas no sólo se pretende lograr un tamaño adecuado de los pies de porvenir mediante la rebaja gradual de la densidad de la masa, sino también una acertada selección de los mismos que garantice su calidad tecnológica. Además, gracias a las claras se consigue anticipar una parte de la renta del arbolado en pie, por lo que tienen una evidente consecuencia en los flujos de caja que se generan durante la rotación.

El régimen de claras a aplicar depende del esquema de selvicultura adoptado, que quedará encuadrado en alguno de los siguientes grupos:

#### 1) *Esquemas para producción de madera de desintegración*

Inicialmente, la selvicultura de madera de industria con esta especie, también llamada selvicultura de turnos celulósicos, tenía como finalidad la producción de madera para pulpa de celulosa a turnos muy cortos (Madrigal, 1992).

Este modelo viene representado por las tablas de producción de Echevarría y De Pedro (1956), que se basan en el mantenimiento de espesura completa en la masa y en la aplicación de turnos de corta de unos 25 años.

Se preconizan numerosas claras por lo bajo, con rotaciones de tres años. El porcentaje de crecimiento corriente extraído varía entre el 40 y el 60%, lo que corresponde a un régimen de claras moderado según el criterio de Lanier (1986).

Si se emplea el sistema de clasificación propuesto para *Pinus pinaster* Ait. por Rodríguez Soalleiro (1995), el peso de las claras varía de ligeramente fuertes a muy débiles, según envejece y pierde vigor la masa. De los 13 a los 25 años, los porcentajes de pies extraídos disminuyen desde algo más del 30 al 7%, los de área basimétrica de algo más del 20 al 5% y el incremento del índice de Hart-Becking cae del 28 al 4% en las calidades intermedias más frecuentes. Para estas calidades que aproximadamente se corresponden con un índice de sitio de 16 y 22 m, el índice de Hart-Becking antes de clara oscila entre 15-18 y 12-15% respectivamente.

Este esquema selvícola se abandonó en la década de los setenta, por la escasa rentabilidad que proporcionaba al selvicultor, la elección de una producción principal de madera de desintegración, como consecuencia de la caída del precio de esta materia prima acaecida en aquellos años.

#### 2) *Esquemas integrados o tradicionales (selvicultura multiproducto)*

Están generalmente dirigidos a la producción mayoritaria de madera de sierra. Estos procedimientos integran fases intermedias de extracción de productos comerciales de menor valor como medio para alcanzar la corta final. Los esquemas selvícolas convencionales del País Vasco (Madrigal, 1992; Aunós, 1990) y Galicia (Sánchez *et al.*, 1997) se corresponden con esta modalidad.

El modelo del País Vasco se caracteriza por la ejecución de un claro y dos o tres claras por lo bajo o mixtas, con una rotación media de cinco años; en la mayor parte de los casos, los propietarios forestales sólo llevan a cabo dos claras, quedando la masa final preparada para la corta final a los 20 años de edad con unos 400 pies por hectárea. El peso de las claras puede calificarse de ligeramente fuerte, ya que la densidad extraída oscila entre el 33 y el 40%, y el área basimétrica de la clara entre el 20 el 30% de la de la masa principal (Madrigal, 1992). El índice de Hart-Becking antes de clara se estabiliza a partir de los 15 años entre el 19 y el 22% para las calidades II y III vascas respectivamente.

A diferencia del esquema del País Vasco, los modelos progresivos gallegos se refieren a montes gestionados por la administración forestal, que constituyen las dos terceras partes de las plantaciones gallegas de la especie. Aunque existe una gran variedad de situaciones, por lo general las rotaciones son más largas, unos siete años de media, y muchas masas alcanzan la corta final con 600-800 pies por hectárea a los 30 años.

Suele practicarse una primera clara mixta fuerte, de carácter semisistemático, y una o dos claras fuertes por lo bajo selectivas, para llegar a la corta final. El porcentaje de pies extraídos se sitúa alrededor del 40% y el de área basimétrica próximo al 20%. El índice de Hart-Becking antes de clara para las calidades intermedias se estabiliza, como en el caso anterior, alrededor de los 15 años, tomando valores del orden del 15 y 18% para índices de sitio de 17 y 21 m (Sánchez y Rodríguez, 2001).

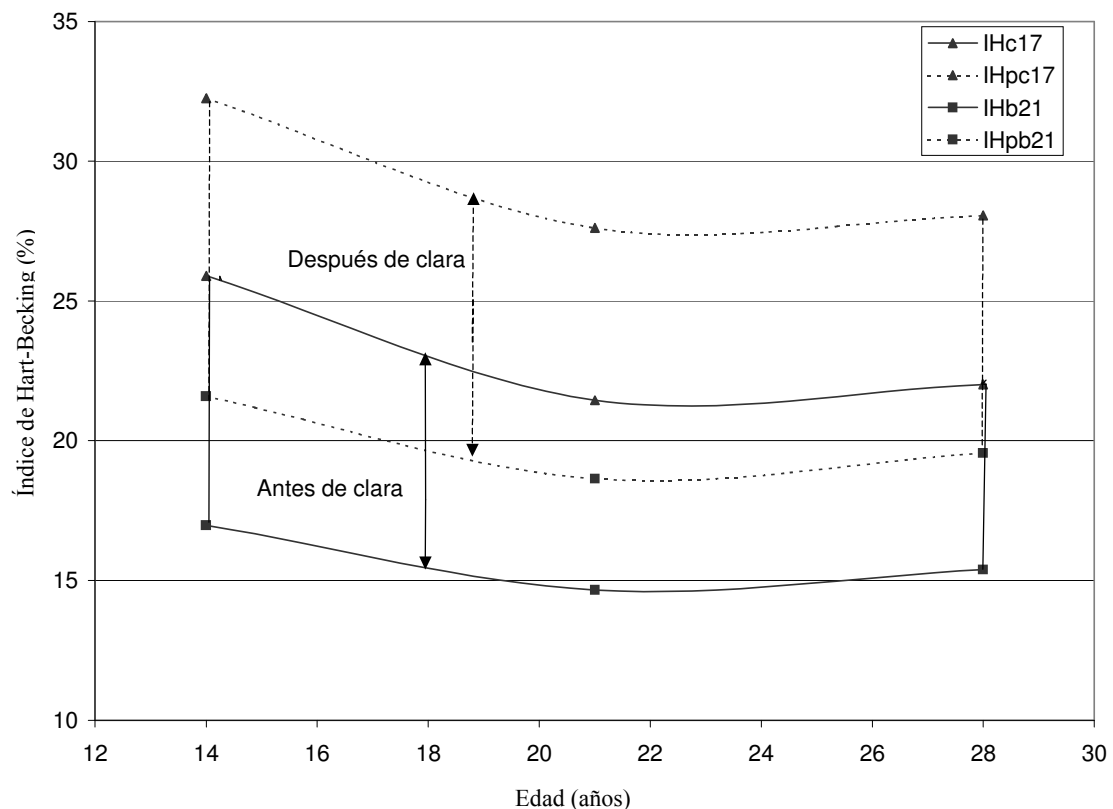


Figura III.1: Evolución del índice de Hart-Becking en los esquemas progresivos convencionales

### 3) *Esquemas directos de madera sólida (madera de sierra y chapa)*

Se prescinde casi o totalmente de las claras, realizándose la selección del arbolado a temprana edad. Mayoritariamente se emplean en Nueva Zelanda, pero también se han implantado en Tasmania (Australia) y en otros países. En España no son usuales, bien por unas condiciones de productividad inferiores, o por una fuerte demanda de madera de industria, que favorecen los esquemas progresivos.

A pesar de lo anterior, los selvicultores de pequeñas parcelas, en muchos casos vinculados al sector ganadero, tienden a realizar esquemas directos con turnos cortos, de hasta un máximo de 25 años, y enfocan su producción a la industria de aserrado de rollizos de 15 a 25 cm de diámetro y a la fabricación de tableros. Las densidades finales son altas, del orden de 1.000 o más pies, pudiendo llevar aparejado una clara fuerte por lo bajo a mitad de la rotación.

#### III.3.1. Edad de Iniciación

Generalmente varía entre los 10 y los 15 años, dependiendo de la densidad de la plantación, la calidad de estación, de si se ha efectuado un clareo previo a la misma y de los objetivos selvícolas y productivos.

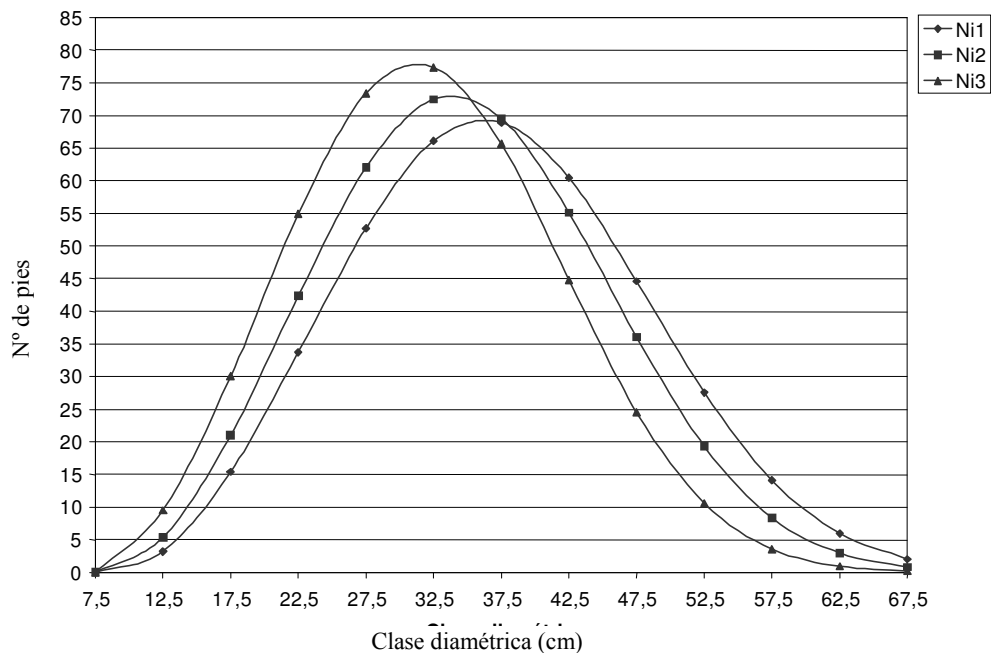
Un clareo previo permite retrasar algunos años la edad de iniciación y la extracción de mayores volúmenes unitarios en la primera clara. Buenas calidades de estación conducen necesariamente a adelantar la edad de la primera clara a no ser que se seleccione previamente el arbolado con un intenso clareo.

Un objetivo prioritario de madera gruesa debe acompañarse de una clara temprana en los esquemas progresivos, ya que el máximo crecimiento corriente del área basimétrica se produce con el cierre de copas, y siempre antes de que el área basimétrica alcance 15 m<sup>2</sup>/ha para una amplia gama de densidades de plantación (Forrest y Ovington, 1970). Este momento se producirá antes de los 10 años (6-8) en las buenas calidades de estación, y con posterioridad, pero antes de los 15, en las mediocres.

El retraso en la edad de iniciación de las claras provoca un desplazamiento de la distribución de los pies hacia las clases de diámetro inferiores y, si es excesivo, puede conducir a la práctica de esquemas incoherentes, por cuanto merman la calidad de la producción sin contrapartida alguna en el volumen de biomasa leñosa (Sánchez Rodríguez, 2001).

El efecto en la dimensión de los pies es palpable incluso aunque se pretenda remediar el retraso con la intensificación posterior de las claras. En la figura adjunta se muestra la distribución diamétrica de los pies de la corta final de una densidad de 395 pies/ha a los 35 años de edad en tres simulaciones distintas de un rodal de índice de sitio igual a 20 m. En la primera (Ni1) y la segunda (Ni2) se han simulado tres claras a los 14, 21 y 28 años. La diferencia entre ambas estriba en que en el primer caso se parte de una densidad cercana a 1000 pies/ha, es decir se supone que se ha practicado un intenso clareo previo, y el régimen de claras es moderado. En el

segundo se parte de una densidad próxima a 1500 y el peso de las claras es fuerte. El tercer caso pretende simular el comienzo de las claras a los 20 años, y se reduce la rotación a cinco, ejecutándose tres claras fuertes a los 20, 25 y 30 años de edad. La reducción del diámetro medio cuadrático final es notable, de 38,4 a 36,1 y 33,3 cm.

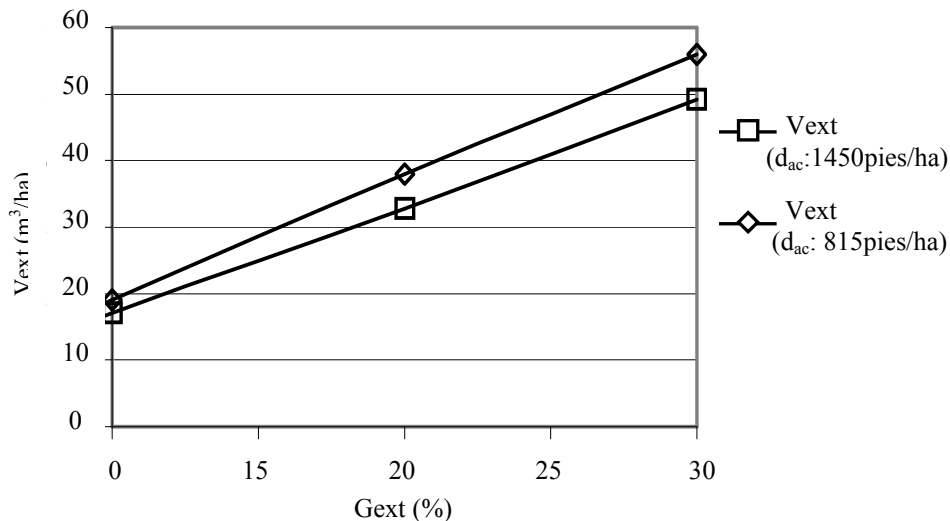


**Figura III.2: Efecto del retraso en el comienzo de las claras sobre la distribución diamétrica de 395 pies/ha a los 35 años de edad.**

### III.3.2. Volúmenes extraídos en las claras

Para garantizar la rentabilidad de la primera clara, en la mayor parte de los casos resulta obligado que ésta tenga un peso fuerte, incluso superior al 40% de los pies de la masa principal y carácter semisistemático (una de siete a nueve filas) para facilitar la extracción del resto de los pies entre las calles. Un peso fuerte facilita a su vez la selección del arbolado, que debe ser más intensa cuanto peor es la calidad de estación.

En la figura cuatro se muestran los volúmenes que resultan de simular una clara realizada a los 15 años con áreas basimétricas extraídas del 10, 20 y 30% en un rodal de un índice de sitio de 21m con dos densidades antes de clara diferentes (1450 y 815 pies/ha), pero plausibles según los esquemas progresivos que se emplean en la actualidad. Es claro que aún con claras fuertes ( $G_{extraída} > 20\%$ ), la cantidad de madera extraída en la primera clara es de poca monta.



**Figura III.3: Volumen extraído en primeras claras de distintos pesos**

La madera extraída en la primera clara irá destinada casi en su totalidad a la industria de desintegración, aunque una pequeña porción de rollizos de aserrío puede obtenerse de los árboles dominantes de las calles de saca.

Este tipo de claras semisistemáticas puede no ser necesario en el caso de calidades buenas en las que previamente se selecciona la masa con un clareo, o cuando la densidad de la plantación se ha rebajado para permitir el tránsito de tractores o disminuir los costes de la selvicultura.

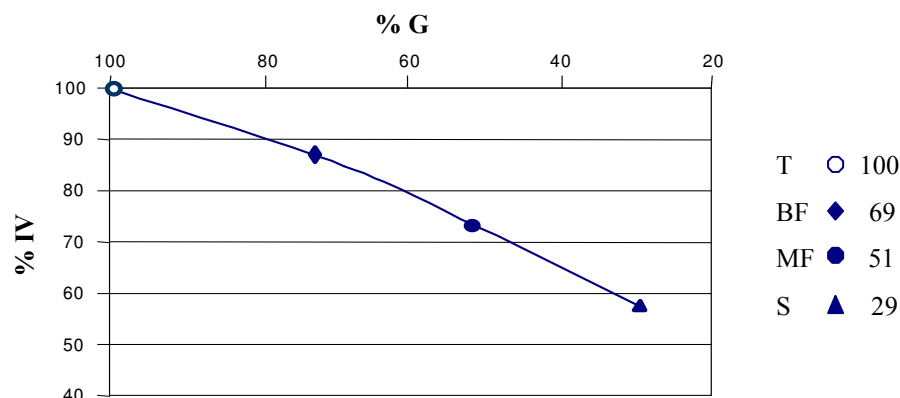
El volumen extraído con posterioridad superará con creces la exigua cantidad de la primera clara, pudiendo alcanzarse hasta un máximo de 50-100 m<sup>3</sup>/ha, según calidades de estación y tipo de selvicultura. La segunda clara puede llegar a contener entre un 20 y un 50% de madera de sierra superior a 20 cm, mientras que en la tercera, si es que llega a efectuarse, este valor se situará alrededor del 60%.

### III.3.3. Peso y Rotación De Las Claras

*Pinus radiata* D.Don es considerada una especie muy flexible, capaz de adaptarse a diferentes esquemas de selvicultura sin una merma productiva considerable. Así, dentro del tipo de claras que generalmente se emplea (por lo bajo o a lo sumo mixtas en la primera semisistemática), las pérdidas de crecimiento en volumen son de un orden muy inferior al de las áreas basimétricas extraídas.

La reducción porcentual del crecimiento en volumen respecto a una parcela testigo mantenida en espesura completa, pasado un plazo de nueve años después de efectuarse tres claras de distinta intensidad a los 13 años de edad, se muestra en la figura adjunta, elaborada a partir de los datos de Echevarría (1943). El peso de las claras practicadas fue del 69, 51 y 29% de área basimétrica residual, fuertes por lo bajo (BF), fuertes mixta (MF), y de aislamiento dejando algunos dominantes (S), respectivamente. Para claras por lo bajo del 20 al 30% de área basimétrica extraída la pérdida de crecimiento se sitúa entre el 10 y el 15%.





**Fig. III.4: Pérdida de crecimiento tras nueve años después de aplicar claras de distinto tipo**

La flexibilidad de la especie y la posibilidad de mejorar la economía de escala conducen a aplicar claras fuertes con extracciones de área basimétrica y de densidades superiores al 20 y 30% respectivamente, alargando la rotación por encima de los cinco años. Los programas de simulación disponibles producen resultados casi idénticos en cuanto a producción total y diámetro medio cuadrático en la masa final entre una alternativa de tres claras moderadas con rotaciones de cinco años y otra de dos claras fuertes espaciadas siete u ocho años.

El peso, medido en proporción de pies extraídos, tiende a disminuir en las claras subsiguientes a la primera, si bien el alargamiento de la rotación lleva aparejado mayores pies y volúmenes extraídos que el esquema progresivo tradicional que se venía practicando en el País Vasco.

El retraso excesivo en la ejecución de las claras puede provocar la inestabilidad de la masa principal, bien por daños de nieve o por efecto del viento. En zonas de montaña se ha verificado una alta probabilidad de daños intensos por nieve en el caso de que el coeficiente de esbeltez de los árboles ( $h/d$ ), sobrepase el valor de 88 (Castedo *et al.*, 2000). El riesgo puede ser especialmente elevado después de claras semisistemáticas.

#### III.3.4. Selección Del Arbolado En Las Claras

La selección del arbolado a extraer en las claras debe realizarse con unos criterios adecuados a los fines que persiga la silvicultura. Para la mayor parte de los esquemas actuales pueden seguirse las recomendaciones neozelandesas, que priman por orden de importancia el vigor (que incluye el estado sanitario), la rectitud del tronco (esencialmente en las trozas basales), su ramosidad y por último el espaciamiento entre los pies (Maclaren, 1989).

La falta de vigor y la presencia de plagas y enfermedades suelen acaparar el principal esfuerzo de selección en las masas cantábricas, sobre todo en las situadas sobre terrenos ácidos. Cuanto peor es la calidad de estación mayor es el número de pies que carecen del vigor suficiente para poder ser considerados candidatos a miembros de la masa principal.

Una alta incidencia de algunas enfermedades criptogámicas (*Cyclaneusma minus*), de la polilla del brote (*Rhyacionia buoliana*) o incluso de la procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*), puede conducir a aplicar claras de tipo mixto de saneamiento que favorezca al arbolado indemne.

La rectitud del tronco puede convertirse en un problema serio en el caso de masas establecidas sobre lugares muy expuestos a fuertes vientos o intensas nevadas. La pérdida de la guía principal producirá portes en bayoneta en las trozas basales que en buena parte deben ser eliminados en las claras. Escasa o nula atención ha recibido el grado de ramosidad en la selección de los pies a extraer en las claras.

#### III.4. PODAS

Planificar y ejecutar correctamente un programa de podas en esta especie es imprescindible para la consecución de los objetivos productivos que plantean los esquemas selvícolas progresivos españoles, dado que lo que se pretende de manera prioritaria es producir madera de sierra o desarrollo de calidad suficiente (PG-Galicia, 1993; Rodríguez Soalleiro *et al.*, 2002).

Las podas pueden tener la finalidad principal de mejorar el acceso al interior de la masa y reducir el contacto entre el sotobosque y las copas de los árboles. En este caso son podas no selectivas, efectuadas desde el suelo en todos los pies del rodal junto con un desbroce y, en muchos casos, con un clareo más o menos intenso. Se denominan podas de penetración, y se efectúan a una edad variable en estado de monte bravo.

Las podas de producción de madera sin nudos deben acompañarse de una cuidadosa selección de los árboles de porvenir, ya que las claras no rendirán pies de dimensión suficiente para justificar esta operación, y tampoco todos los que constituyan la corta final tendrán el diámetro necesario para rentabilizar este tratamiento.

Por ello, es obligado que las podas de producción sean selectivas y estén convenientemente planificadas. El retraso en su ejecución supone pérdidas crecientes en rendimiento de madera sin nudos que afectan a su rentabilidad. Las podas deben comenzar cuando la altura de los árboles sea de cinco a seis metros para que siempre quede un margen de seguridad de tres a cuatro metros de copa verde (Koehler, 1984).

El número de árboles dominantes y codominantes a seleccionar debe ser lo suficientemente elevado como para cubrir las pérdidas de dominancia y otras incidencias, como plagas y enfermedades, que puedan acontecer en el transcurso de la vida del rodal (Sutton y Crowe, 1975).

Unos 400 pies por hectárea pueden ser suficientes para obtener en la corta final cerca de 200 pies con la dimensión suficiente para que sean rentables en las dos primeras trozas. Montes de baja calidad (índice de sitio menor de 18), deben limitar la poda de la segunda troza a un número no superior a 200 pies, porque no habrá más de 100 que reporten al final la calidad suficiente (Sánchez Rodríguez y Rodríguez Soalleiro, 2003).

### III.5. FERTILIZACIÓN

Una adecuada gestión de las masas de esta especie maderera debe considerar la evaluación del estado nutricional del arbolado y los tratamientos de fertilización necesarios para que este estado sea óptimo dentro de las posibilidades de la estación.

Estos tratamientos pretenden corregir deficiencias nutricionales o simplemente lograr aumentos productivos, sin que se detecte una sintomatología previa aparente. No obstante, para la mayor parte de los nutrientes, la corrección de deficiencias lleva aparejada un sustancial aumento del crecimiento. Por otro lado, los desequilibrios nutricionales son responsables de una mayor presencia de enfermedades criptogámicas, por lo que estos tratamientos pueden mejorar el estado sanitario del arbolado.

Ensayos de fertilización para lograr aumentos de la producción en repoblaciones de dos y seis años, fueron llevados a cabo en Vizcaya a finales de los cincuenta y en los sesenta del siglo pasado, en colaboración con propietarios particulares (Quintanilla, 1974). Aunque los resultados fueron alentadores en algunas parcelas, la respuesta en el crecimiento fue debida esencialmente a la mayor disponibilidad de nitrógeno, ya que los niveles del resto de nutrientes presumiblemente estaban próximos al óptimo para la especie. La frecuencia y dosis de fertilización empleadas fueron excesivas para lo que suele ser usual en la fertilización forestal.

En Galicia, sobre suelos ácidos de monte, se realizaron ensayos factoriales de fertilización para solventar deficiencias nutricionales en repoblaciones. Los resultados de la fertilización en el hoyo de plantación o del uso de la técnica del sorrapeo, fueron muy positivos, incluso después de pasados 15 ó 20 años (Bara, 1974, 1990). Los incrementos fueron mayores en los casos en los que una deficiencia aguda, por ejemplo la fijación del potasio en forma no asimilable, determinaba la supervivencia y el crecimiento de las plantas.

A pesar de estos trabajos, la fertilización forestal no se ha desarrollado como tratamiento generalizado en las repoblaciones de *Pinus radiata*, y mucho menos en masas ya instaladas y de distintas clases de edad. La baja productividad (comparada con la de los países australes), el largo plazo de retorno de las inversiones y la falta de evaluación previa de las necesidades nutricionales de la especie y de conocimiento de la respuesta al tratamiento en distintos medios, pueden ser las razones que han frenado el desarrollo de esta práctica.

Cierto es que los propietarios particulares que repueblan sus montes, en muchos casos al amparo del programa europeo de reforestación de tierras agrarias, han practicado distintos tipos de fertilización en el momento de la plantación, siendo lo más corriente la aplicación en la casilla u hoyo de algún complejo mineral (8-24-16 o similar), o de un fertilizante encapsulado de liberación gradual.

Excepcionalmente se ha fertilizado para lograr la instalación de pasto bajo arbolado con la finalidad de fomentar sistemas silvopastorales (Sánchez Rodríguez, 1998). La masa no debe superar entonces los 500 pies/ha para que la producción de pasto sea aceptable, y es esencial suplementar la fertilización con caliza dolomítica en los suelos ácidos de monte (Rigueiro, 1998).

Recientemente se han llevado a cabo trabajos de evaluación del estado nutricional de *Pinus radiata* con técnicas de análisis foliar. Los resultados son similares en el País Vasco y Galicia, sin embargo la intensidad y la frecuencia de deficiencias en la comunidad gallega son mayores que en la vasca, tal y como cabía esperar por la tipología de los suelos.

La deficiencia más común es la de fósforo, seguido por orden de importancia de las de magnesio y calcio. Estas carencias pueden manifestarse tanto en masas maduras (Romanyá y Vallejo, 1996; Sánchez Rodríguez *et al.*, 1998), como en las plantaciones recientes (Zas Y Serrada, 2002).

La naturaleza de la roca madre puede condicionar el nivel de algunos nutrientes, por lo que los ensayos o programas de fertilización deben tener una base litológica. En el País Vasco, el calcio y el magnesio foliar presentan niveles significativamente inferiores sobre sustratos ácidos (granitos, esquistos etc.) que sobre sustratos básicos (Romanyá y Vallejo, 1996). En Galicia, las concentraciones de potasio son menores en granitos que en otras rocas de textura fina, mientras que las de calcio y otros micronutrientes, aumentan sobre sustratos de naturaleza básica; las masas sobre esquistos ácidos de los sistemas montañosos lucenses presentan niveles medios de magnesio inferiores a los hallados en granitos y rocas básicas, situadas a menor altitud (Sánchez Rodríguez *et al.*, 2002).

Por otro lado, la naturaleza de la roca madre tiene una reducida o nula influencia sobre la concentración foliar de los elementos biófilos (nitrógeno, fósforo, etc.), aunque en algunos casos, como ocurre en los basaltos y las margas calizas vascas, el fósforo foliar presenta niveles medios superiores (Romanyá y Vallejo, 1996; Sánchez Rodríguez *et al.*, 2002).

La altitud del monte y el uso del suelo previo a la repoblación también deben ser tenidos en cuenta en los planes de fertilización. Las plantaciones de mayor altitud presentan niveles inferiores de magnesio (Mesanza *et al.*, 1993; Zas y Serrada, 2002), y un uso reciente de pradera, con más o menos proporción de herbáceas, garantiza un mejor suministro de fósforo a las plantaciones (Zas y Serrada, 2002).

En la actualidad se están llevando a cabo ensayos con diversos tipos de sustancias fertilizantes. Las más prometedoras son las cenizas procedentes de la combustión de corteza en calderas de biomasa de industrias forestales, y el fosfato roca con diferentes grados de granulometría.

La fertilización con cenizas de corteza permite la reutilización de un residuo que hasta el momento venía acumulándose en los parques de las fábricas y la restitución parcial o total de los nutrientes que son extraídos del monte en las cortas. Es decir, lleva implícita una economía en la gestión del residuo, al evitarse su entrega a una entidad autorizada, y una gestión sostenible del monte.

Además, las cenizas están especialmente indicadas, por el efecto encalante que producen, para suelos ácidos muy deficientes en bases de cambio y con gran propensión a fijar los fosfatos de forma irreversible. Tienen menor cantidad de metales pesados que otros residuos y son pobres en nitrógeno, lo que reduce el riesgo

de contaminación nitrogenada y de aumento del desequilibrio nutricional existente entre este nutriente y aquellos que limitan la producción.

Las cenizas son de uso habitual en otros países y no presentan una gran complejidad técnica de aplicación. Su principal inconveniente reside en el riesgo de arrastre o lixiviación, por lo que probablemente habrá que admitir un protocolo que limite su empleo en los terrenos con pendiente elevada y en aquellos situados a menos de una prudencial distancia de los cauces de agua (Solla-Guillón *et al.*, 2001).

La roca mineral fosfatada es esencialmente insoluble en agua, pero se disuelve lentamente por la acción de los compuestos orgánicos presentes en los suelos muy ácidos, por lo que está especialmente indicada para terrenos forestales con una considerable capacidad de fijación del fósforo. Debe compaginarse el grado de molienda de la roca con una suficiente solubilidad en citrato para que el fertilizante sea efectivo (Prichett, 1991). En el País Vasco se están llevando a cabo ensayos para probar la efectividad de este tipo de fertilizante, muy apropiado para relieves accidentados.

### III.6. SANITARIOS

La proliferación de enfermedades (esencialmente ataques de *Diplodia pinea*), ha sido el motivo principal del abandono de *Pinus radiata* después de daños por granizo en diversos países de África y en algunos estados de Australia, especialmente cuando el clima presentaba cierto matiz subtropical (Lavery, 1986).

*Diplodia pinea* está presente en casi todo el área española de distribución de la especie, y ocasionalmente puede causar daños de gran importancia tras intensas granizadas. En 1993 provocó altas tasas de mortalidad en 100 ha del Noroeste de Alava (Madrid, 1993), y más recientemente en algunas localidades Vizcaínas y en el Valle del Mena en Burgos. A excepción de las zonas con mayor riesgo de granizo, las condiciones climáticas de la cornisa cantábrica no condicionan la estabilidad de las masas de la especie respecto a este patógeno.

Distintas micosis que infectan las acículas, llegando incluso a defoliar el árbol afectado si es elevada su peligrosidad, han sido sucesivamente descritas durante el siglo pasado (Benito, 1933, 1942; Fernández de Ana, 1975; Mansilla *et al.*, 1997).

Ataques intensos de estas enfermedades criptogámicas pueden estar relacionados con desequilibrios nutricionales, una inadecuada elección del sitio de plantación o prácticas culturales erróneas, como un exceso de aporte de nitrógeno a las repoblaciones (Lambert, 1986).

No se han llevado a cabo tratamientos paliativos frente a la invasión de estos patógenos, a pesar de que uno de los más frecuentes en Galicia, *Dothistroma septospora* (banda roja), puede ser prevenido durante la rotación mediante tres a cinco pulverizaciones con oxiclورو de cobre a razón de 1,66 Kg/5 l. de mezcla de agua y aceite por hectárea (Maclaren, 1993).

Son las cortas de mejora las que se encargan de extraer los pies más susceptibles a estos patógenos, dada la diferente resistencia que manifiestan los pies de un rodal a

su invasión. Los procedimientos de selección permiten obtener líneas genéticas más resistentes al ataque de *Dothistroma pini* (Maclaren, 1993) y *Diplodia pinea* (Arregui *et al.*, 1999), lo que también puede contribuir a dotar de mayor estabilidad o seguridad al selvicultor en las zonas de riesgo más elevado.

La procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) es controlada por las Diputaciones Forales Vascas mediante evaluaciones previas de su grado de presencia y pulverizaciones aéreas de diflubenzurón o *Bacillus turingiensis*.

## **IV. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN**

### **IV.1. CALIDAD DE ESTACIÓN**

Las primeras curvas de calidad construidas en España para *Pinus radiata* proceden de las parcelas permanentes instaladas por el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias para estudiar la producción de las especies de mayor crecimiento. En ellas se emplearon métodos gráficos para representar la evolución de la altura media de las parcelas con la edad (Echevarría, 1942; Echevarría y De Pedro, 1956).

El análisis de árboles dominantes en la construcción de curvas de calidad en España se llevó a cabo por primera vez en la elaboración de las tablas de producción de *Pinus radiata* para el País Vasco. Para ello, Madrigal y Toval (1975) ajustaron la ecuación de Hossfeld y establecieron tres calidades de estación caracterizadas por alturas dominantes de 13, 17 y 21 m a una edad típica de 15 años, que corresponden respectivamente a alturas de 17,6, 21,7 y 25,9 m a los 20 años (edad de referencia aceptada actualmente para la especie).

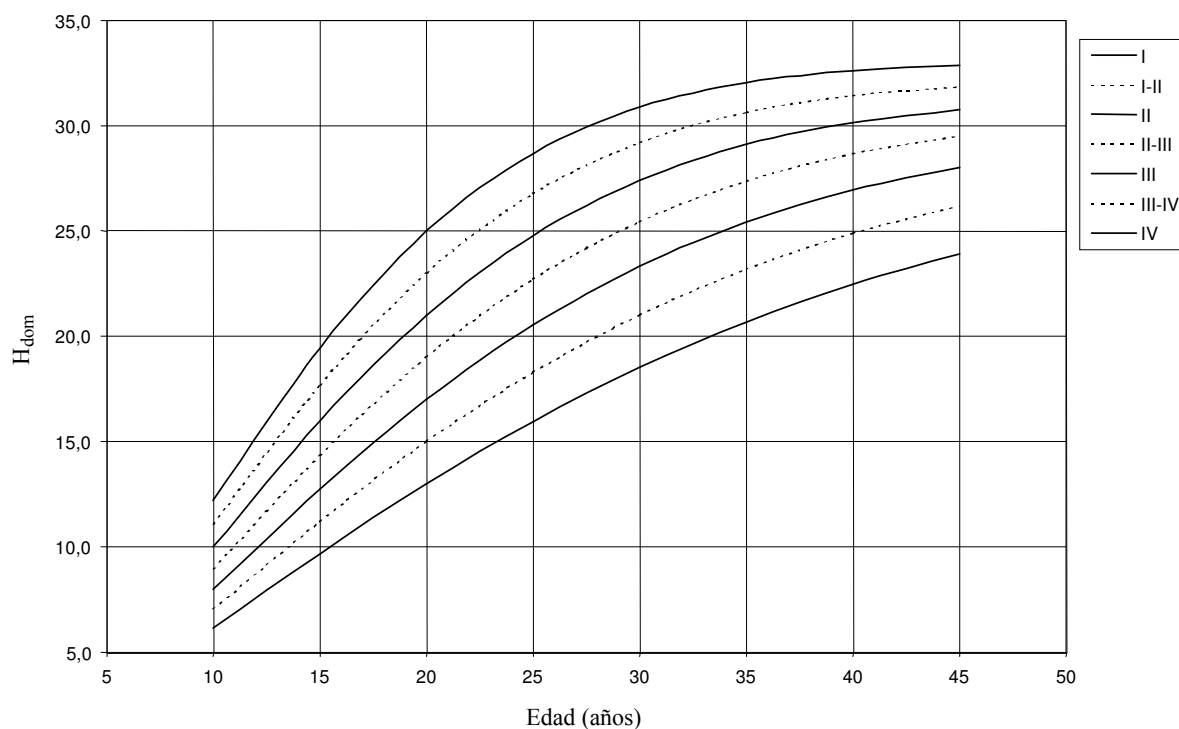
Recientemente se ha llevado a cabo el ajuste de la ecuación de Hossfeld a datos procedentes de la medición de 923 parcelas del inventario forestal del País Vasco, agrupándolas en las clases de calidad establecidas por Madrigal y Toval (1975). Con estos datos se obtuvieron tres familias de curvas anamórficas, la primera para índices de sitio (en adelante IS) mayores a 24, la segunda para  $24 > IS > 20$  y la tercera para  $IS < 20$  m (Espinell *et al.*, 1997).

En Galicia se han ajustado distintos modelos parametrizados con el índice de sitio a partir del análisis de 94 árboles dominantes. Un buen resultado lo ofrece un modelo de Weibull de tres parámetros, a partir del que se han definido cuatro calidades de estación, con IS igual a 13, 17, 21 y 25 m de altura dominante a la edad de referencia de 20 años (Sánchez Rodríguez *et al.*, 2003).

Tanto en Galicia como en el País Vasco, la mayor parte de las masas suelen presentarse sobre calidades intermedias o bajas (IS menores de 23 y 24 m respectivamente) tal y como se refleja en la Tabla IV.1 (Espinell *et al.*, 1997; Sánchez Rodríguez *et al.*, 2003). Se comprueba además una gran amplitud en los valores del índice de sitio, que puede tomar valores entre 11 y 27 m, lo que muestra la gran importancia que tiene la correcta elección de un hábitat adecuado para la introducción de la especie.

**Tabla IV.1: Proporción de parcelas de inventario según clase de índice de sitio o calidad de estación en Galicia y el País Vasco.**

Galicia		País Vasco	
Calidad de estación	Proporción sobre 175 parcelas (%)	Calidad de estación	Proporción sobre 923 parcelas (%)
IS>23	10	IS>24	15
19<IS<23	42	20<IS<24	35
IS<19	48	IS<20	50



**Figura IV.1 Curvas de calidad de estación para *Pinus radiata* D. Don en Galicia**

## IV.2. CRECIMIENTO

La pauta de crecimiento en altura de esta especie puede ser mono o policíclica, dependiendo de la calidad de estación y del genotipo del árbol. La alta heredabilidad encontrada en este carácter, puede ser aprovechada para seleccionar líneas con largos entrenudos, para evitar o reducir las operaciones de poda (Maclaren, 1993).

El máximo crecimiento en altura dominante se produce como término medio alrededor de los 9-11 años (Tabla 4), estando esta edad correlacionada negativamente con el índice de sitio, como suele suceder en muchas otras especies (Sánchez Rodríguez, 2001). El crecimiento en altura decae a partir de entonces hasta llegar a valores cercanos a medio metro anual a los treinta años de edad.

Los crecimientos iniciales, indicados en la Tabla IV.2 como valores medios a los cinco años de edad, representan sólo un valor aproximado debido a la gran varianza de los datos a estas edades en repoblaciones artificiales efectuadas con técnicas muy diversas. Aunque no deben ser usados para estimar con precisión la calidad de estación, estos datos pueden ser útiles para orientar al gestor sobre la marcha de sus plantaciones.

**Tabla IV.2. Máximo crecimiento medio y corriente en altura dominante para *Pinus radiata* según el modelo propuesto para las masas gallegas de la especie.**

Indice de sitio	Edad del máximo cto. Corriente	Máximo cto. Corriente en altura (m/año)	Edad del máximo cto. Medio	Máximo cto. Medio en altura (m/año)	Crecimiento medio en altura a los 5 años (m/año)
25	9	1,56	15	1,30	0,93
21	10	1,26	16	1,07	0,78
17	10	0,98	17	0,85	0,65
13	11	0,72	19	0,65	0,53

Tanto la edad de la masa, como la calidad de estación y la selvicultura efectuada, determinan el crecimiento en diámetro medio cuadrático. El mantenimiento de altas densidades reduce considerablemente los valores medios, sobre todo si el índice de sitio supera los 21 m, tal y como se refleja en la Tabla IV.3, elaborada a partir de los datos de Sánchez Rodríguez (2001).

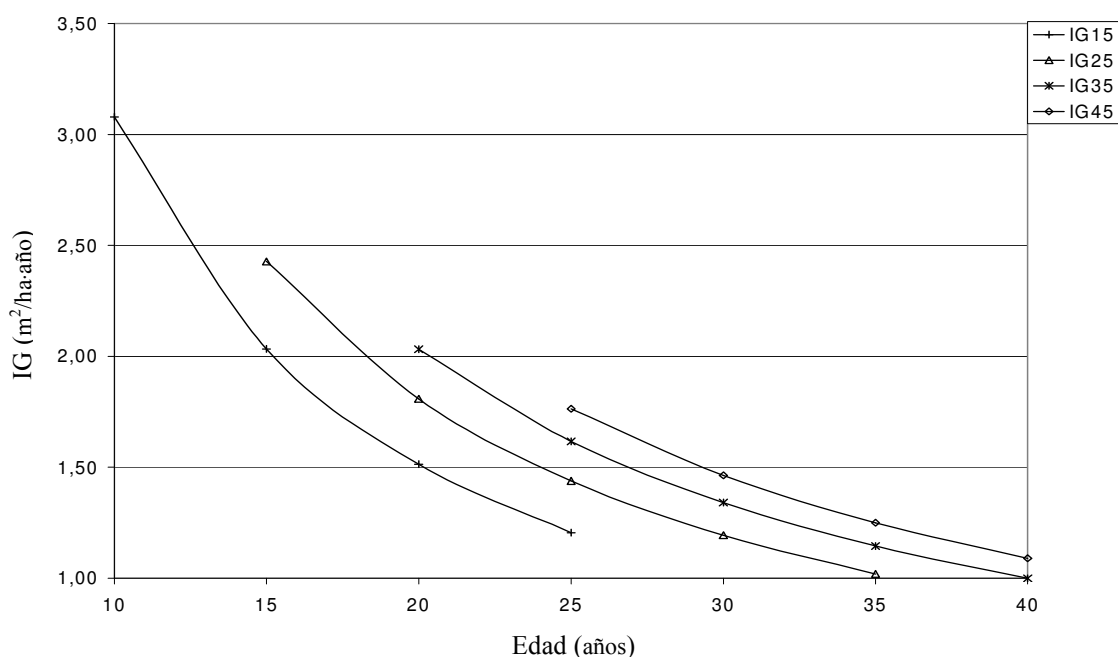
Grandes valores del diámetro medio cuadrático en plazos relativamente cortos de tiempo (30 años), sólo son posibles en rodales con buena calidad de estación. Por el contrario, cuando la calidad es media o baja parecen no encontrarse ventajas respecto al crecimiento en diámetro si se mantienen bajas densidades.

**Tabla IV.3. Crecimiento medio anual del diámetro medio cuadrático ( $d_g$ ) de la masa principal a los 30 años de edad para esquemas progresivos en masas de *Pinus radiata* D. Don. (datos de Sánchez Rodríguez, 2001)**

Indice de sitio	Crecimiento medio anual de $d_g$ en cm/año		
	Densidad elevada	Densidad media	Densidad baja
25	0,95	1,14	1,32
21	0,90	1,08	1,20
17	0,85	1,02	1,09
13	0,80	0,94	0,96

Como se indicó anteriormente, el máximo crecimiento del área basimétrica se produce generalmente antes de los diez años de edad, por lo que a partir de este punto puede considerarse que esta variable tiene una tendencia decreciente, tal y como se refleja en el gráfico adjunto elaborado a partir de una ecuación de incremento calculada por Castedo (2001), para cuatro valores centrales del área basimétrica (15, 25, 35 y 45 m<sup>2</sup>/ha).





**Figura IV.2:** Evolución del incremento anual del área basimétrica con la edad de la masa en *Pinus radiata* D. Don (elaborada a partir de la ecuación de incremento calculada por Castedo, 2001).

El rango de variación del área basimétrica con la edad y la calidad de estación se refleja en la Tabla IV.4; a los 10 años de edad esta variable oscila entre 10 y 20, y a los treinta entre 30 y 50 m<sup>2</sup>/ha. Puede comprobarse en el gráfico que, desde valores cercanos a 3 m<sup>2</sup>/ha-año, se produce una reducción del incremento anual a 2 y 1 m<sup>2</sup>/ha-año a los 15-20 y 35-40 años respectivamente.

**Tabla IV.4:** Rango de valores del área basimétrica en masas de *Pinus radiata* D. Don a distintas edades para cuatro clases de calidad diferentes (Índice de sitio de 25, 21, 17 y 13 m).

Edad	G <sub>25</sub>	G <sub>21</sub>	G <sub>17</sub>	G <sub>13</sub>
10	15,0-21,4	12,1-17,4	9,3-13,6	6,6-9,9
20	30,8-45,1	28,7-39,9	26,1-34,4	22,9-28,5
30	31,4-52,7	31,1-48,0	30,5-43,0	29,5-37,3

El máximo crecimiento medio en volumen de la masa total, se produce entre los 28 y 44 ó más años de edad, con valores extremos de 24,8 y 11,6 m<sup>3</sup>/ha-año, según sea el índice de sitio 25 ó 13 m respectivamente. Las calidades intermedias, 17 y 21 m, que son las más comunes, presentan crecimientos medios máximos de 14,0-17,3 y 16,2-20,9 m<sup>3</sup>/ha-año a los 32-33 y 37-40 años respectivamente (Tabla IV.5).

**Tabla IV.5: Edades de máximo crecimiento medio de la masa total y rangos correspondientes de los valores de los crecimientos de las masas total y principal.**

Calidad	Turno máxima renta en especie	Crecimiento masa total	Crecimiento masa principal
13	> 44	11,6-13,7	6,5-9,3
17	37-40	14,0-17,3	8,6-10,6
21	32-33	16,2-20,9	10,6-16,2
25	28-29	18,7-24,8	13,0-20,3

Para el conjunto de un monte difícilmente se alcanzan los valores anteriores, que corresponden a parcelas de inventario sobre masas gestionadas con diferentes regímenes selvícolas, pero que no tienen en cuenta las distintas superficies inforestales que puedan hallarse a escala de monte.

### IV.3. TURNO

El turno aplicado a la especie se ha ido alargando para adaptarse a los requerimientos productivos. Desde la selvicultura para la producción de rollizos de celulosa de los años 1940-70, que preconizaba turnos de corta de 20-22 años, se pasó a la selvicultura progresiva, caracterizada por las tablas de producción de Madrigal y Toval (1975) con turnos de 25-27 años, llegándose finalmente a la selvicultura actual, en la que se prolonga la corta final hasta los 32-35 años para conseguir una mayor proporción de madera gruesa y acercarse al turno de máxima renta en especie (Madrigal, 1992; Espinel *et al.*, 1997).

Desde un punto de vista financiero, se han calculado turnos de 30 a 35 años para tasas de descuento sociales y de 25 a 35 años para tasas financieras, según sea la calidad de estación (Díaz Balteiro y Romero, 1995).

La naturaleza de la propiedad y del gestor de las masas de esta especie, influye decisivamente en el esquema selvícola y en el turno de corta adoptado. La aceptación de sacrificios de cortabilidad, consecuencia de la gran cantidad de masas que simultáneamente pueden llegar a la edad de corta, prolongará ésta más allá de los valores señalados anteriormente. La consideración de otros usos o producciones alternativas del monte también tendrán su reflejo en un alargamiento de los turnos aplicados.

### IV.4. EXISTENCIAS Y PRODUCCIÓN

La Tabla IV.6 muestra las existencias en número de pies, el área basimétrica, los volúmenes con y sin corteza y el crecimiento anual en cada clase diamétrica, según los datos de Segundo Inventario Forestal Nacional (DGCONA, 1998).

**Tabla IV.6: Existencias por clase diamétrica, según el 2º IFN**

Clase diamétrica	Nº de pies (miles)	G (m <sup>2</sup> )	Vcc (m <sup>3</sup> )	Vsc (m <sup>3</sup> )	IAV(m <sup>3</sup> /ha)
5	55.916				
10	34.128	264.359	1.290.806	947.273	257.733
15	22.785	396.167	2.223.885	1.662.436	319.865
20	14.645	454.897	2.662.815	2.058.656	282.751
25	10.177	497.392	3.232.324	2.548.636	278.874
30	8.093	569.083	4.120.556	3.286.268	306.602
35	6.231	596.047	4.720.745	3.795.856	312.645
40	4.480	558.866	4.797.413	3.885.909	290.646
45	2.570	405.780	3.755.517	3.062.758	208.876
50	1.591	309.079	3.030.986	2.484.969	157.891
55	854	200.853	2.049.617	1.690.544	99.308
60	386	107.971	1.144.566	948.782	52.191
65	127	41.475	444.864	371.486	19.293
>70	95	40.977	449.572	380.405	16.690
Total	162.078	4.442.947	33.923.668	27.123.978	2.603.363

La producción maderable en el período del inventario (1986-1995) osciló entre 1.545.926 m<sup>3</sup> en el año 1993 y 2.367.426 m<sup>3</sup> en el 1995, con una media de 1.871.206 m<sup>3</sup> en el decenio, valor que se encuentra por debajo del crecimiento anual del período.

#### IV.5. MODELOS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN

El primer trabajo español referido a la especie fue publicado por Echevarría (1942), que elaboró unas tablas de producción de existencias normales, es decir de espesura completa, buscando una utilización total del espacio y la máxima producción. Se instalaron y midieron 41 parcelas en 16 sitios de ensayo, para probar espaciamientos diferentes, distribuidos en Guipúzcoa, Vizcaya, Santander y Pontevedra. Los inventarios tuvieron lugar durante diez años en algunas parcelas, lo que permitió realizar ajustes gráficos de la evolución de las variables de interés. Las tablas elaboradas a partir de estos trabajos, comprenden un rango de edades de 7 a 25 años, con cinco calidades definidas por la altura media y un régimen de claras moderado para garantizar la máxima producción.

Estas tablas, según Madrigal (1991), perdieron pronto vigencia al ampliarse enormemente la superficie repoblada con *Pinus radiata* D. Don, y con ella la diversidad de condiciones de estación y marcos de plantación.

Posteriormente Madrigal y Toval (1975) construyeron unas tablas de producción para el País Vasco con una red de 53 parcelas temporales. Estas tablas son válidas para un rango de edades de 5 a 35 años, definiéndose tres calidades de estación mediante curvas de crecimiento de la altura dominante. Son tablas de selvicultura media observada, es decir, de la que realmente se llevaba a cabo cuando se realizaron las mediciones. El régimen de claras contemplado es más fuerte que el anterior, lo que evidencia un destino final de aserrado.

También para el País Vasco, Castilla y Prieto (1992) elaboraron un simulador de la producción de masas de esta especie a partir de las anteriores tablas de selvicultura media y de datos de ocho parcelas permanentes establecidas por la Diputación Foral de Guipúzcoa. Este trabajo permite obtener tablas de selvicultura de referencia e información sobre distribuciones diamétricas, clasificación de productos y rentabilidad de los turnos.

Recientemente se ha elaborado un simulador del crecimiento en el ámbito vasco (Cantero *et al.*, 1995; Espinel *et al.*, 1997). Para ello se partió del inventario forestal de País Vasco del año 1986, y, entre 1993 y 1994, se repitió la medición de 30 de sus parcelas. También se contó con 30 parcelas permanentes, establecidas por la Diputación Foral de Guipúzcoa en 1988, tratadas con distintos regímenes de claras. El modelo desarrollado permite simular el crecimiento de un rodal regular desde cualquier edad y con distintos pesos de claras por lo bajo. Los resultados ofrecen la tabla de la evolución de la masa según los tratamientos elegidos, así como la distribución diamétrica a cualquier edad.

En Galicia se estableció una red de más de 175 parcelas de inventario que ha producido un modelo de crecimiento y producción de rodal, dando como fruto final, entre otros resultados, un modelo de crecimiento de la altura dominante y un conjunto de 12 tablas de producción para cuatro clases de calidad y tres tipos de selvicultura diferentes (Sánchez Rodríguez, 2001). Se han obtenido también resultados en la modelización de la distribución de diámetros (López, 2000), la relación entre la altura y el diámetro de los pies (López *et al.*, 2003) y el cálculo de funciones de perfil (Castedo y Álvarez, 2000), y se ha iniciado la construcción de un simulador de crecimiento (Castedo, 2001).

## V. BIBLIOGRAFÍA

- ADÁN DE YARZA M., 1913. La repoblación forestal en el País Vasco. Euskadi Forestal 1, 24 pp.
- ALLUÉ J.L., 1990. Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. I.N.I.A., Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 221 pp.
- ARAGONÉS A., ESPINEL S., RITTER E., 1994. Caracterización mediante el uso de RADP de la población de *Pinus radiata* del País Vasco (España). Invest. Agr.: Sist. Rec. For. 3 (2), 135-146.
- ARESES R., 1952. Árboles y jardines de Galicia. Escuela Especial de Ingenieros de Montes, Madrid.
- ARREGUI A., ESPINEL S., ARAGONÉS A., SIERRA R., 1999. Estimación de parámetros genéticos en un ensayo de progenie de *Pinus radiata* D. Don en el País Vasco. Invest. Agr.: Sist. Rec. For. 8 (1), 119-128.
- AUNÓS A., 1990. Análisis financiero de proyectos de inversión en repoblaciones forestales. Tesis doctoral nº 8, Departamento de Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco.
- BARA S., 1974. Ensayos de fertilización forestal. Respuesta del *Pinus radiata* (D. Don) a la adición de macronutrientes en un suelo deficiente en potasio. Anal. Ins. Nac. Inv. Agr. Serie Recursos Naturales 1, 109-127.
- BARA S., 1990. Fertilización forestal. Consellería de Agricultura, Ganadería e Montes. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, 176 pp.

- BENITO J., 1933. Una grave micosis del pino observada por primera vez en España. Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural XXXIII (1), 25-26.
- BENITO J., 1942. La micosis del *Pinus insignis* en Guipúzcoa. Boletín del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias 23, 72 pp.
- BUNN E.H., WILL G.M., 1973. Management operations affecting nutrient cycling and fertilizer response in forest stands. Symposium on forest fertilization. F.A.O.-I.U.F.R.O., Paris.
- CANTERO A., ESPINEL S., SÁENZ D., 1995. Un modelo de gestión para las masas de *Pinus radiata* en el país Vasco. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 1, 193-198.
- CASTEDO F., 2001. Elaboración de un modelo de crecimiento y desarrollo de las repoblaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Trabajo de Investigación, E.P.S., Universidad de Santiago, Lugo, 91 pp.
- CASTEDO F., ÁLVAREZ J.G., 2000. Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus radiata* D. Don en Galicia basada en una función de perfil de tronco. Invest. Agr.: Sist. Rec. For. 9, 253-268.
- CASTEDO F., GORGOSO J., LÓPEZ C., 2000. Daños de nieve en *Pinus radiata* D. Don en la media montaña lucense. Recomendaciones selvícolas. Congreso de Ordenación y Gestión sostenible de montes, Santiago de Compostela. Tomo 1, pp. 457-465.
- CASTILLA G., PRIETO A., 1992. Desarrollo y utilización de un simulador de producción de madera para masas de *Pinus radiata* D. Don en el País Vasco. Invest. Agr.: Sist. Rec. For., 1 (2), 189-210.
- DE MESANZA B., 1985. Entresacas de mejora en el pinar (bosquejo histórico del modelo de desarrollo en un pinar vasco). Actualidad Forestal del País Vasco 95, 11-12.
- DGCONA, 1998. Segundo Inventario Forestal Nacional. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- DÍAZ BALTEIRO L., ROMERO C., 1995. Rentabilidad financiera de las especies de crecimiento medio y lento en el vigente marco de las ayudas públicas. Revista Española de Economía Agraria 171, 85-108.
- ECHEVERRÍA I., 1942. Ensayo de tablas de producción del *Pinus insignis* en el norte de España. I.F.I.E., Madrid, 67 pp.
- ECHEVERRÍA I., 1943. Tratamiento del *Pinus insignis*. Espesuras, podas, claras. I.F.I.E., Madrid, 154 pp.
- ECHEVERRÍA I., DE PEDRO S., 1956. "*Pinus insignis*", crecimiento y producción en el norte de España, y aplicación a la elaboración de la pasta de celulosa. I.F.I.E. Madrid.
- EDESO J.M., MERINO A., GONZÁLEZ M.J., MARAURI P., 1999. Soil erosion under different harvesting managements in steep forestlands from northern Spain. Land Degradation & Development 10, 79-88.
- ESPINEL S., ARAGONÉS A., 1997. Estado actual de la mejora genética de *Pinus radiata* D. Don en el País Vasco. II Congreso Forestal Español, Pamplona. Tomo III, pp. 195-200.
- ESPINEL S., CANTERO A., SÁENZ D., 1997. Un modelo de simulación para rodales de *Pinus radiata* en el País Vasco. Montes 48, 34-38.
- FERNÁNDEZ DE ANA F., 1975. La enfermedad de la banda roja en el *Pinus radiata*. Comunicaciones del I.N.I.A., Serie Protección Vegetal nº 3, 16 pp.

- FERNÁNDEZ MANSO A., GONZÁLEZ J.M., RAMÍREZ J., 2002. El pino radiata en la comarca del Bierzo: Situación actual y propuestas de gestión. III Congreso Forestal Español, Granada. Mesa 5, pp. 766-771.
- FORREST W.G., OVINGTON J.D., 1970. Organic matter changes in an age series of *Pinus radiata* plantations. J. Appl. Ecol. 7, 177-186.
- F.R.I., 1981. Long-Term Gorse and Broom Control. What's new in forest research n° 100. New Zealand Ministry of Forestry, Forest Research Institute, New Zealand.
- F.R.I., 1987. Which radiata pine seed should you use? What's new in forest research n° 157. New Zealand Ministry of Forestry, Forest Research Institute, New Zealand.
- F.R.I., 1988. Calidad y especificaciones de la planta de semillero de pino insigne. What's new in forest research n° 171. New Zealand Ministry of Forestry, Forest Research Institute, New Zealand.
- GANDULLO J.M., GONZÁLEZ ALONSO S., SÁNCHEZ PALOMARES O., 1974. Ecología de los pinares españoles IV. *Pinus radiata* D. Don. Monografías I.N.I.A. 13, 187 pp.
- GANDULLO J.M., SÁNCHEZ PALOMARES O., 1994. Estaciones ecológicas de los pinares españoles. I.C.O.N.A. Colección Técnica. Madrid, 188 pp.
- GERDING V., SCHLATTER J.E., 1995. Variables del sitio de importancia para la productividad del *Pinus radiata* D. Don en Chile. Simposio I.U.F.R.O. para Cono Sur Suramericano sobre Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales, Valdivia, Chile, pp. 159-180.
- GORGOSO J., LÓPEZ C., ROJO A., SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., 2000. Regeneración natural de *Pinus radiata* D. Don en las Rías Bajas gallegas. El caso del monte Castro y Ciudad (Riveira). Comunicación de la reunión del grupo de trabajo de silvicultura de la S.E.C.F. (documento inédito).
- HUNTER I.R., GIBSON A.R., 1984. Predicting *Pinus radiata* site index from environmental variables. N. Z. J. For. Sci. 14 (1), 53-64.
- JACKSON D.S., GIFFORD H.H., 1974. Environmental variables influencing the increment of radiata pine (1). Periodic volume increment. N. Z. J. For. Sci. 4 (1), 3-26.
- KOEHLER A.R., 1984. Variable-lift pruning of radiata pine. F.R.I. (New Zealand Forest Research Institute) Bulletin 78, 38 pp.
- LAMBERT M.J., 1986. Sulphur and nitrogen nutrition of *Pinus radiata* at Nundle State Forest, New South Wales, Australia. Can. J. For. Res. 16 (5), 1055-62.
- LANIER L., 1986. Précis de sylviculture. E.N.G.R.E.F., Nancy, France, 468 pp.
- LAVERY P.B., 1986. Plantation forestry with *Pinus radiata*. Review papers. Papers n° 12. School of forestry, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 255 pp.
- LIBBY W.J., BANNISTER M.H., LINHART Y.B., 1968. The pines of Cedros and Guadalupe Islands. Journal of Forestry 66, 846-853.
- LÓPEZ C., 2000. Estudio de las distribuciones diamétricas en rodales de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Proyecto fin de Carrera, E.P.S., Universidad de Santiago, Lugo.
- LÓPEZ C., GORGOSO J., CASTEDO F., RODRÍGUEZ R., ÁLVAREZ J.G., SÁNCHEZ F., 2003. Comparison of generalised height-diameter models for *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). Ann. For. Sci. (en prensa).
- MACLAREN J.P., 1993. Radiata pine grower's manual. F.R.I (New Zealand Forest Research Institute) Bulletin n° 184, 140 pp.

- MADRID M.A., 1993. *Diplodia pinea* una enfermedad del pino "insignis". Euskadi Forestal 13, 25-27.
- MADRIGAL A., 1991. Tablas de producción. Seminario sobre inventario y ordenación de montes, Valsaín, Segovia. Volumen II, pp. 32-70.
- MADRIGAL A., 1992. Ecología, silvicultura y producción del *Pinus radiata* D. Don en España, con especial referencia al País Vasco. Curso Internacional Erasmus sobre Desarrollo de Especies de Crecimiento Rápido e Impacto sobre el Medio Ambiente, Valsaín, Segovia. 20 pp.
- MADRIGAL A., TOVAL G., 1975. Tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en el País Vasco. Dirección General de la Producción Agraria, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- MADRIGAL A., DOMÍNGUEZ M.L., PERAZA M., 1989. Estudio de la silvicultura de las masas artificiales de *Pinus canariensis* Sweet ex Spreng. Santa Cruz de Tenerife.
- MANSILLA P., PÉREZ R., VELA P., 1997. Hongos de las acículas de *Pinus* sp. en las masas forestales gallegas. Primer Congreso Forestal Hispano-Luso, Pamplona. Tomo V 247-252 pp.
- MCDONALD P.M., LAACKE R.J., 1990. *Pinus radiata* D. Don. En: Silvics of North America: 1 Conifers. BURNS R. M., HONKALA B. H., U.S.D.A. Forest Service Agriculture Handbook 654 (Vol. 1), 433-441.
- MERINO A., EDESO J.M., 1999. Soil fertility rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don plantations from northern Spain after intensive site preparation. For. Ecol. Man. 116, 83-91.
- MESANZA J.M., CASADO H., CASTILLO F.J., 1993. Nutrient concentrations in *Pinus radiata* D. Don needles in the Basque Country (Spain): A preliminary classification of parameters and sites. Ann. For. Sci. 50, 23-36.
- MICHEL M., 1988. La mejora de especies introducidas. El *Pinus radiata* D. Don en España. En: Mejora genética de especies arbóreas forestales. PARDOS J.A., ed. FUCOVASA, Madrid, pp. 411-416.
- MORAN G.F., BELL J.C., ELDRIDGE K.G., 1988. The genetic structure and the conservation of the five natural populations of *Pinus radiata*. Can. J. For. Res. 18, 506-14.
- OURO G., PÉREZ BATALLÓN P., MERINO A., 2001. Effect of silvicultural practices on nutrient status in a *Pinus radiata* plantation: Nutrient export by tree removal and nutrient dynamics in decomposing logging residues. Ann. For. Sci. 58, 411-422.
- PÉREZ BATALLÓN P., OURO G., MACÍAS F., MERINO A., 2001. Initial mineralization of organic matter in a forest plantation soil following different logging residue management techniques. Ann. For. Sci. 58, 807-818.
- PG-GALICIA, 1993. El sector del aserrío en Galicia. Medidas para la mejora de su competitividad. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes, Xunta de Galicia, 280 pp.
- PRICHETT W.L., 1991. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Ed. Limusa, Méjico, 634 pp.
- QUINTANILLA P., 1974. Abonado del pino insignis. Publicaciones de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura. Madrid, 80 pp.
- RIGUEIRO A., 1998. Manual de sistemas silvopastorales. Escola Politécnica Superior, Lugo, 54 pp.

- RODGER J.S., 1956. The case for and against the use of natural regeneration in re-establishing softwood plantation in Australia. *Aus. For.* 20, 18-25.
- RODRÍGUEZ A., VEGA G., 1993. Técnicas para la reproducción masiva mediante estaquillas juveniles de coníferas I: *Pinus pinaster* y *Pinus radiata*. Primer Congreso Forestal Español, Pontevedra. Tomo 2, pp. 289-93.
- RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., 1995. Crecimiento y producción de masas regulares de *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Alternativas selvícolas posibles. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., SÁNCHEZ F., GORGOSO J., CASTEDO F., LÓPEZ C., GADOW, K.V., 2002. Evaluating standard treatment options for *Pinus radiata* plantations in Galicia (north-western Spain). *Forestry* 75 (3), 273-284.
- ROMANYÁ J., VALLEJO R. 1996. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantations in Spain. *Ann. For. Sci.* 42 (2), 192-197.
- RUIZ P., 1980. Notas para una historia del pino en Galicia. En: El monte en Galicia, fuentes para su estudio. Ministerio de Cultura, Subdirección General de Archivos, Madrid, 179-192 pp.
- 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.
- RUIZ URRESTARAZU M., 1989. Negorta. *Actualidad Forestal País Vasco* 111, 2-5.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., 1998. La organización silvopastoral en el monte Capelada. Bases para su ordenación. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencia Forestales 6, 153-158.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., 2001. Estudio de la calidad de estación, crecimiento, producción y silvicultura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., ROJO A., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., 1997b. Silvicultura de *Pinus radiata* D. Don en montes gestionados por la Administración en la zona central de la provincia de Lugo. II Congreso Forestal Español IRATI'97, Pamplona. Tomo IV, pp. 493-498.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., ROJO A., ÁLVAREZ J., 1998. Resultados preliminares del estudio de curvas de calidad de estación y de los factores ecológicos implicados en la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Galicia (España). Primer Congreso Latinoamericano I.U.F.R.O., El manejo sustentable de los recursos forestales, desafío del siglo XXI, Valdivia, Chile. Edición en CD-ROM.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., ROJO A., ÁLVAREZ J.G., LÓPEZ C., GORGOSO J., CASTEDO F. (2003). Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* (en prensa).
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., ESPAÑOL E., LÓPEZ C. A., MERINO A., 2002. Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in northwestern Spain. *For. Ecol. Manage.* 117, 181-189.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., 2003. Planificación y rentabilidad de la poda de masas de *Pinus radiata* D. Don en Galicia (Doc. Ined.).
- SCOTT C.W. 1961. Pino insigne (*Pinus radiata* D. Don). Estudios sobre silvicultura y productos forestales nº 14. FAO, Roma, 340 pp.
- SHAW G.R., 1914. The genus *Pinus*. Publications of the Arnold Arboretum nº5, Riverside Press, Cambridge, 96 pp.



- SHELBOURNE C.S.A., BURDON R.D., BANNISTER M.H., THULIN I.J., 1979. Choosing the best provenances of radiata pine for forest sites in New Zealand. *N. Z. J. For. Sci.*, 24 (2), 288-300.
- SOLLA-GULLÓN F., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., MERINO A., 2001. Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante ensayo en laboratorio. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 16 (3), 379-393.
- SOTO B., BASANTA R., PÉREZ R., DÍAZ-FIERROS F., 1995. An experimental study of the influence of traditional slash-and-burn practices on soil erosion. *Catena* 24, 13-23.
- SUTTON W.R.J., CROWE J.B., 1975. Selective pruning of radiata pine. *N. Z. J. For. Sci.*, 5 (2), 171-195.
- ÚBEDA J.M., 1974. El pino insigne en su hábitat natural. En: *Ecología de los pinares españoles IV. Pinus radiata D. Don*. Monografías I.N.I.A. nº 13, Ministerio de Agricultura, Madrid, pp. 17-23.
- VEGA HIDALGO J.A., 1977. Influencia del fuego en los hábitos regenerativos de *Pinus pinaster* Ait. y *P. radiata* D. Don en Galicia. ICONA, Monografía nº 20, Madrid.
- VOGL R.J., ARMSTRONG W.P., WHITE K.L., COLE K.L., 1977. The closed-cone pines and cypresses. En: *Terrestrial Vegetation of California*. Ed. John Wiley, New York, pp. 295-358.
- XUNTA DE GALICIA, 2001. O monte galego en cifras. Dirección Xeral de Montes e Medio Ambiente Natural. Xunta de Galicia, 226 pp.
- ZAS R., SERRADA R., 2002. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *For. Ecol. Man.* 174, 167-176.