

LA MEJORA FORESTAL

Gabriel Toval Hernandez

Centro de Investigación Forestal de Lourizan,. Consellería de Medio Rural. Xunta de Galicia. Apartado de Correos 127. 36080-PONTEVEDRA (España). Correo electrónico: gabriel.toval.hernandez@xunta.es

Resumen

Como respuesta a la cuestión planteada como lema del 5º Congreso Forestal español “saber qué hacer”, se propone como acción innovadora el desarrollo de un Plan de Mejora Forestal que teniendo en cuenta fundamentos económicos, forestales, logísticos, tecnológicos, selvícolas y genéticos, permitan una mejora continua de las masas forestales, en términos cuantitativos y cualitativos, para la producción de madera, corcho, combustibles leñosos, frutos y otros productos, al tiempo que fijar las mayores cantidades posibles de CO₂, mejorar el suelo, regular el régimen hidrológico y contribuir a la biodiversidad aumentando el área de especies y endemismos amenazados. Todo ello a través de dos Programas, el de Mejora Genética y el de Mejora Selvícola, cuyos objetivos son conseguir materiales de reproducción y técnicas selvícolas para el cumplimiento de los fines del Plan.

Palabras clave: *Mejora genética, Mejora selvícola, Selvicultura clonal, Plantaciones, Caracteres*

INTRODUCCIÓN

Con objeto de encontrar respuestas a la difícil cuestión que constituye el lema de este 5º Congreso Forestal: “saber qué hacer”, hemos recurrido a la Estrategia Forestal Española, donde se recogen las demandas que la sociedad española exige a los montes (MMA, 1999).

Dichas demandas que, conviene recordar, se engloban en las ya clásicas funciones ecológicas, sociales y económicas, concretándolas en los siguientes aspectos: regulación del ciclo del agua, freno de procesos de erosión, protección de embalses, freno de procesos de desertificación, regulación de intercambio de gases atmosféricos, fijación del polvo atmosférico, salvaguardia de la biodiversidad de las especies forestales y de la fauna, conservación del paisaje, asentamiento y fijación de poblaciones, usos recreativos, de ocio, educativos y culturales, generación de empleo, promoción de actividades económicas, mejora de la habitabilidad del

medio rural, producción de bienes y servicios, gestión sostenible, abastecer de materias primas al sector industrial y generación de rentas a los propietarios.

En general, se puede decir que las exigencias apuntan a que los montes presenten una cobertura suficiente, preferentemente arbórea, para cumplir con las funciones protectoras y a que generen rentas bastantes como para asegurar su propio sostenimiento y la del resto de las funciones sociales que se les demandan.

Teniendo en cuenta la estructura de propiedad de los montes que en el 70% de los casos son de titularidad privada (MARM, 2006), la exigencia de rentabilidad es vital para su permanencia y en todo caso, necesaria para que sus propietarios puedan acometer las deseables inversiones de mejora. La reducción de costes, selvícolas, de aprovechamiento y transporte, los incrementos del crecimiento y de la productividad en todas las operaciones, así como el aumento de la calidad de sus productos, que

implica la necesaria colaboración entre los selvicultores y la industria, son las bases para ampliar la rentabilidad de los mismos.

Los datos económicos resaltan aún más dicha necesidad si queremos mantener un sector competitivo. En el período 1991-2006 los valores deflactados de la madera en cargadero y el precio de mercado de un producto forestal tan significativo como es la pasta de celulosa blanqueada de frondosas han caído un 35%.

Nuestra respuesta a “saber qué hacer” es la que hemos dado en llamar Mejora Forestal que encierra una alta dosis de innovación, que conceptualmente se entiende hoy en día como suma de dos procesos, el de la invención, que cubre los esfuerzos dirigidos a crear nuevas ideas y ponerlas en funcionamiento y el de explotación, que engloba las fases de desarrollo comercial, de aplicación y de transferencia.

La Mejora Forestal debe aplicarse no sólo para alcanzar los fines anteriormente enumerados, sino que además puede ser una herramienta eficaz para la conservación de especies o endemismos forestales amenazados y aprovechar la oportunidad que para los montes representa dar respuesta al principal reto ambiental de la sociedad actual, es decir, el del cambio climático provocado por el incremento en la composición atmosférica de los gases de efecto invernadero, especialmente el del CO₂, motivado por las actividades humanas. Dicha respuesta relacionada con las masas forestales, tanto naturales como artificiales, debe contemplar un doble aspecto: por un lado, su papel como sumideros de carbono y por otro, como productoras de biocombustibles para producir energía con balance nulo de aporte de CO₂ a la atmósfera.

Todos estos beneficios se obtendrán más eficientemente cuanto mejor adaptadas estén las especies y sus materiales de reproducción a las condiciones de estación y cuanto más crezcan las masas forestales con ellos creadas.

CONTENIDO Y OBJETIVOS DEL PLAN DE MEJORA FORESTAL

Un árbol maduro es un buen ejemplo de la interacción entre las características hereditarias de un organismo y su ambiente. El minúsculo

embrión de la semilla de una secuioa o un eucalipto contiene el potencial para convertirse en una de las plantas más corpulentas que existen, pero si el ambiente no le es favorable este potencial no se puede expresar (BURNS & HONKALA, 1990).

Esta evidencia muestra la necesidad de conocer los dos factores de la interacción, es decir, el genético y el ambiente, así como la interacción misma. De tal forma, que a mi entender, un Plan de Mejora Forestal debe incluir necesaria e indisolublemente dos Programas, el de Mejora Genética y el de Mejora Selvícola.

Es por ello que el Plan que proponemos cubre dichos aspectos y por tanto, su contenido comprende dos Programas, el de Mejora Genética y el de Mejora Selvícola, que permitan aumentar significativamente la producción tanto en términos cuantitativos como cualitativos de las plantaciones forestales creadas con el fin de producir, madera, corcho, combustibles leñosos, frutos y otros productos forestales, al tiempo que fijar las mayores cantidades posibles de CO₂, mejorar el suelo, regular el régimen hidrológico y contribuir a la biodiversidad aumentando el área de especies y endemismos amenazados.

El Plan de Mejora Forestal debe basarse en el conocimiento de los factores limitantes de las regiones sobre la que se quiere proyectar la mejora para que las masas creadas respondan a su capacidad de mejorar el ambiente, el atmosférico, el edáfico y el biológico y que la calidad tecnológica de los productos generados responda a los criterios de la industria transformadora.

Además, las plantaciones forestales cuando se evalúan a largo plazo, muestran que el factor que más influye en su comportamiento, especialmente por su adaptación al medio, crecimiento y calidad tecnológica de sus productos, es la calidad del material de reproducción empleado, tanto desde el punto de vista genético como del fisio-morfológico, relacionado con las técnicas de vivero. Asegurado lo anterior y cuando los turnos son cortos o muy cortos, como es el caso de los cultivos energéticos, las técnicas de preparación del suelo y las prácticas iniciales y cuando son más largos, los tratamientos selvícolas, muestran también su importancia.

Por tanto, las mejoras, genética y selvícola deberán enfocarse de tal forma que ambas contribuyan a los mismos objetivos, es decir, a miti-

gar y en última instancia a vencer los factores limitantes propios de la región para la especie forestal elegida y a que la calidad tecnológica de los productos forestales responda a los criterios de la industria transformadora.

FUNDAMENTOS DE LA ESTRATEGIA DE MEJORA

Los fundamentos en los que debe basarse la estrategia de mejora son múltiples y de identidad diversa, los cuales exponemos a continuación apoyándonos en nuestros conocimientos en mejora realizados sobre *Eucalyptus globulus*, que por múltiples circunstancias hemos propuesto en otros ámbitos como especie modelo para desarrollos similares con otras especies y en otros ambientes (TOVAL, 2007).

Económicos

La mejora forestal es una actividad económica que requiere bastantes recursos humanos altamente cualificados y gastos de funcionamiento relativamente elevados. Como toda inversión antes de ser acometida debe ser convenientemente estudiada y planificada para asegurar que los retornos generados justifiquen su rentabilidad.

En algunos casos la industria forestal llega a lograr un valor añadido hasta veinte veces el valor en pie de la madera (TOVAL, 1992), por tanto la mejora, para asegurar las inversiones de forma sostenida durante décadas y la rentabilidad de las mismas, debe tener presente en su estrategia y objetivos a la industria y sus necesi-

dades, ya que desde esta perspectiva no sólo los márgenes económicos serán mayores sino que además los efectos beneficiosos para los selvicultores se verán incrementados.

La competencia en los negocios se plantea hoy en día de forma global. Nuestra industria forestal compite con sus productos con los fabricados en otros países en condiciones más favorables de costes en mercados en los que rigen precios internacionales.

En la figura 1 se representa el coste de la madera para fabricar una tonelada de pasta de celulosa en diferentes países, donde se puede ver que en los países europeos, productores de gran tradición, se supera el coste promedio global ponderado. En España, en concreto, este coste es más de tres veces el coste de la madera de Brasil, competidor de referencia para las pastas de eucaliptos.

Los competidores utilizan estos mismos argumentos para demostrar a los clientes que los proveedores con futuro son ellos (Figura 2), ya que sus costes de producción son menos de la mitad que los nuestros (CLAUDIO-DA-SILVA *et al.*, 2005).

Tal como se puede ver sólo el coste de madera en España ya es superior al total de los costes de producción de pasta de celulosa en Brasil. Tanto uno como otro coste deben servir para marcar los objetivos de mejora en el plano económico ya que no sólo hay que tener en cuenta los propios sino el de los competidores y la tendencia de los precios de mercado. En el caso de la pasta de celulosa el precio puede cifrarse en los momentos actuales en unos 450 €/tAD y con una tendencia bajista del 2% anual, siendo obligado rebajar los costos de producción, el de la

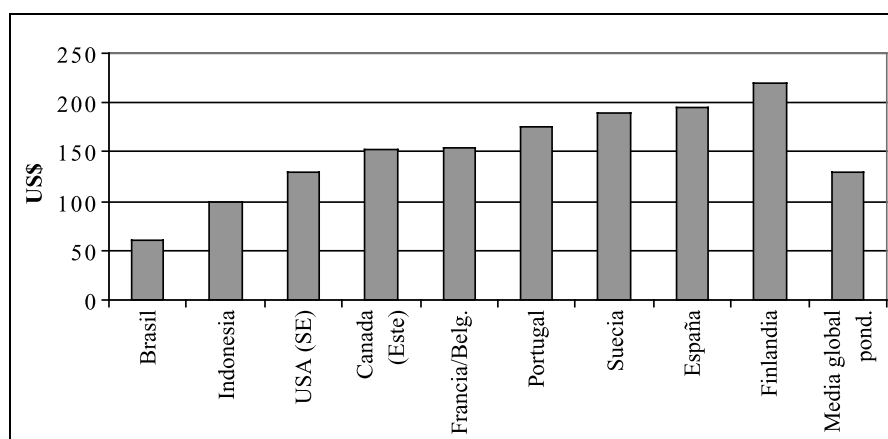


Figura 1. Coste de la madera para producir una tonelada de pasta en diversos países. (Fuente: Elaboración propia)

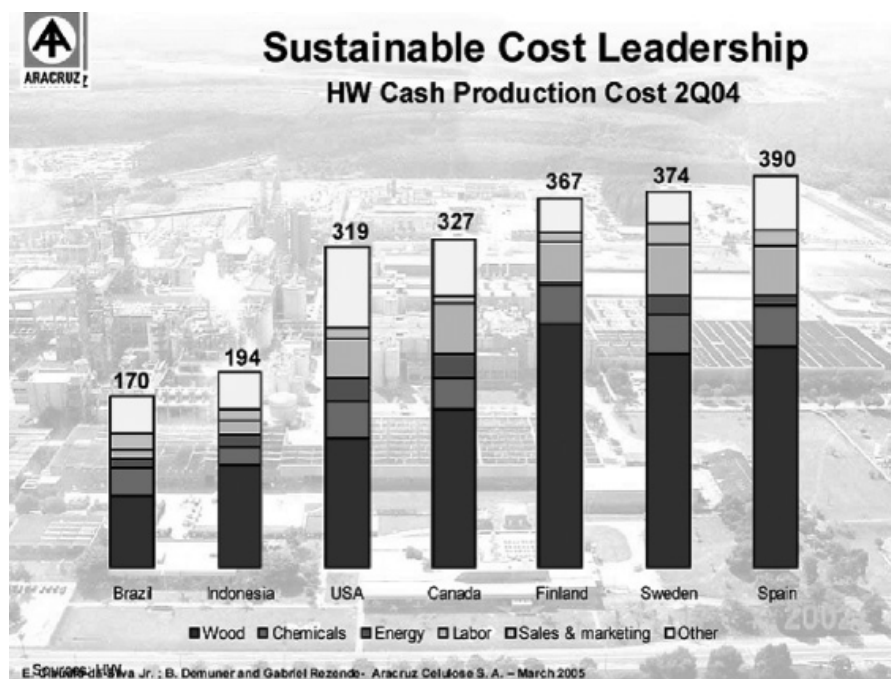


Figura 2. Costes de producción en US\$/tAD de pasta de celulosa en diversos países. (Fuente: CLAUDIO-DA-SILVA, et al., 2005)

madera entre ellos, para que la industria y el sector en el que está englobada sea competitivo.

De manera similar nos podemos referir a los precios de mercado que rigen para la energía eléctrica generada con biomasa, que según el RD 661/2007, que regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, son 152 €/Mwh si procede de cultivos energéticos y 108 €/Mwh si es biomasa forestal primaria. Teniendo en cuenta que para generar un Mwh eléctrico se necesitan en función de su poder calorífico inferior, entre 1,25 y 1,6 t de biomasa y que el costo de la biomasa puede llegar a representar algo más del 50% de los costos de producción, estimamos un precio para la biomasa puesta en fábrica, dependiendo de su origen y calidad, entre 30 y 60 €/t.

Un repaso a otros sectores industriales de la madera, como es el del aserrado en Galicia comparado con dos regiones vecinas, Portugal y Aquitania, que utilizan la misma materia prima, *Pinus pinaster*, arroja un resultado similar, ya que el coste medio de la madera puesta en fábrica es de 64,6 €/m³cc en Galicia, 53,0 en Portugal y de tan solo 36,7 €/m³cc en Aquitania (SÁNCHEZ ROCHA et al., 2008).

Estimaciones que deben servir en el plano económico para cuantificar los objetivos a alcanzar con el Plan de Mejora.

Fundamentos forestales

Los costes necesarios para producir la madera o biomasa en pie, así como los de su aprovechamiento son una parte importante de los costos de la materia prima puesta en los parques de las industrias transformadoras.

Entre los primeros hay que contabilizar el coste del suelo, los costes de plantación, los de mantenimiento a lo largo del turno, los gastos de gestión, los gastos de mejora y los gastos generales, los cuales actualizados al momento del aprovechamiento al interés que se estime oportuno, componen el coste de producción de la madera o biomasa.

En la figura 3, se representa la evolución del costo de producción de un metro cúbico de madera en pie de *E. globulus* en función del crecimiento medio anual de la masa. Donde se puede ver que, a igualdad de inversión, los costos de la madera disminuyen a medida que aumenta el crecimiento, tanto que es posible reducir los costos un 50% si se consigue incrementar el crecimiento al doble, o de otra forma, por cada m³.ha⁻¹.año⁻¹ de aumento del crecimiento medio anual los costos disminuyen en un 6%.

Los costos de aprovechamiento, que incluyen, corta, desrame, tronzado, apilado, desembosque y carga en camión, también evolucionan

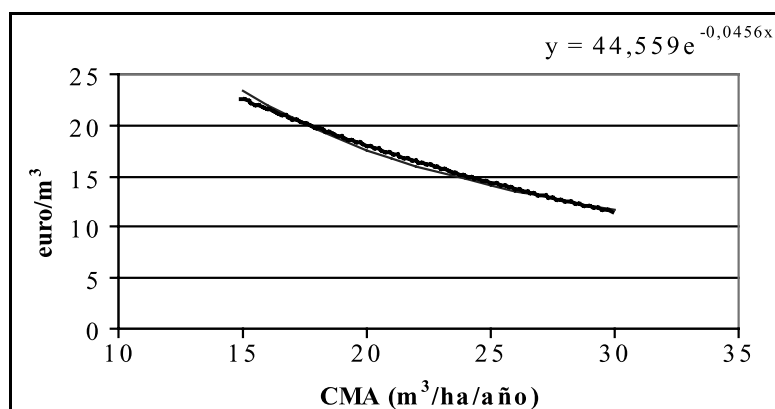


Figura 3. Coste de la madera en pie en función del Crecimiento Medio Anual. (Fuente: Elaboración propia)

de forma inversa a las existencias y en definitiva al crecimiento medio anual de la masa.

En la figura 4, se representa la evolución del costo de aprovechamiento y carga sobre camión de un metro cúbico de madera de *E. globulus* en función de las existencias por hectárea en el momento de la corta. Donde se puede ver que los costos disminuyen a medida que aumentan las existencias o lo que es igual con el crecimiento, tanto que es posible reducir los costos un 48% si se consiguen incrementar las existencias por hectárea al doble, o de otra forma, por cada $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de incremento del crecimiento medio anual los costos de aprovechamiento y carga en camión disminuyen en un 4% (TOVAL, 2007).

En la figura 5 se muestra la evolución conjunta del coste de un metro cúbico de madera puesta sobre camión en función del crecimiento de la masa, donde se pone de relieve la importancia del crecimiento, por lo que debe conside-

rarse en todo caso como uno de los objetivos del Plan de Mejora no sólo por su influencia en el coste final de la madera o de la biomasa, sino también porque significa una mayor capacidad de fijación de carbono y una protección más rápida y eficaz del suelo y de la regulación del régimen hidrológico.

Fundamentos logísticos

El coste de transporte de un metro cúbico de madera desde el monte hasta el parque de la industria de transformación es función de la distancia y se ajusta a una ecuación lineal. En la figura 6 se muestra un ejemplo de dicha relación. Con lo que queda cerrado el capítulo de los componentes del coste del metro cúbico de madera puesto en fábrica.

Componente, este último, que debe ser tenido en cuenta no sólo a la hora de considerar terrenos menos productivos pero más cercanos

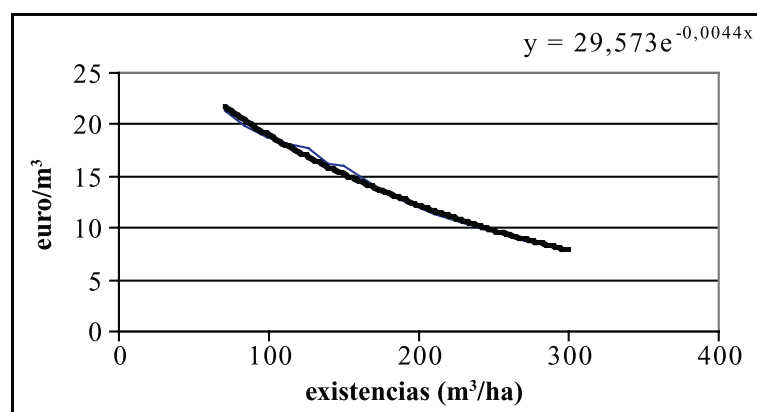


Figura 4. Costes de aprovechamiento y carga de la madera en función de las existencias. (Fuente: Elaboración propia)

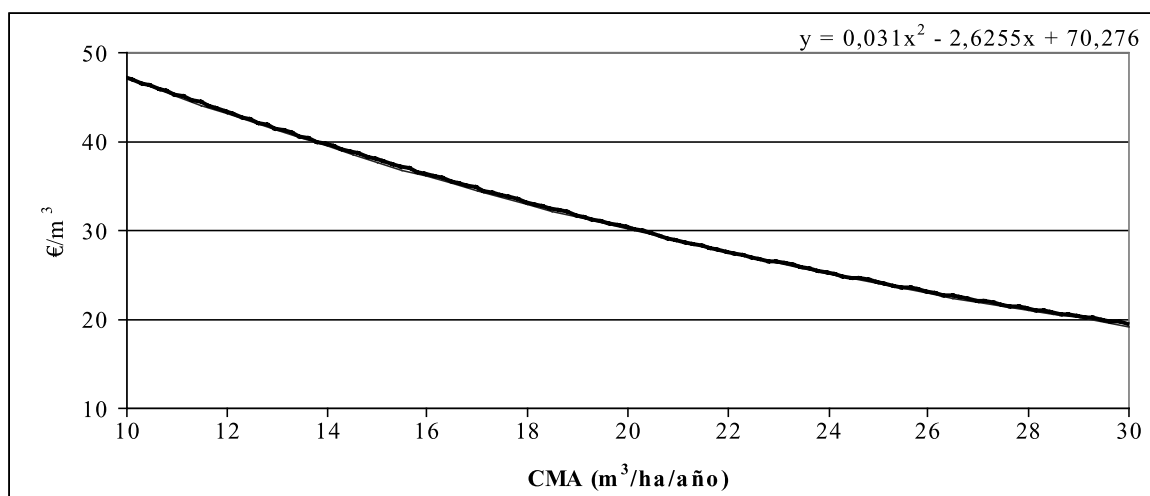


Figura 5. Coste de la madera puesta sobre camión en función del crecimiento. (Fuente: Elaboración propia)

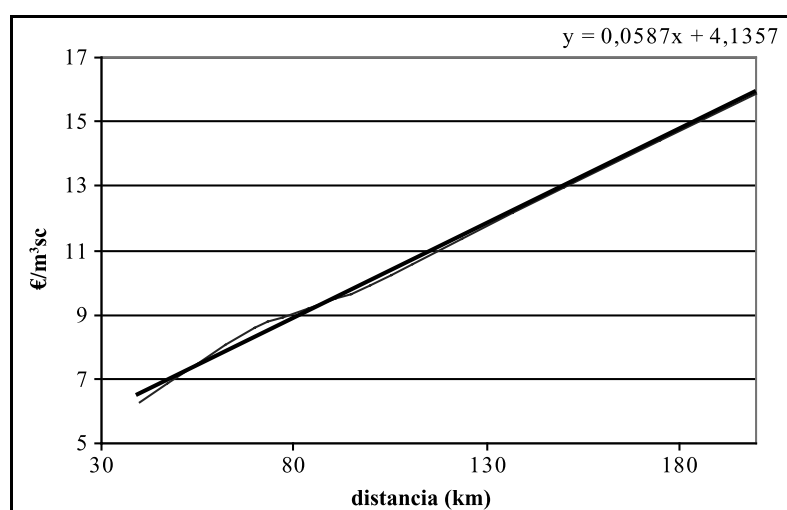


Figura 6. Coste del transporte de madera en función de la distancia. (Fuente: Elaboración propia)

a la industria que otros más productivos y lejanos, sino también con respecto a la densidad del material a transportar, la forma de empaclado o triturado más conveniente en relación a su coeficiente de apilado y el contenido de humedad del mismo.

Fundamentos tecnológicos

Los costes de producción de la madera o biomasa en pie, los de su aprovechamiento y los asociados al transporte son independientes de la especie y como hemos visto, los dos primeros sólo dependen del crecimiento de la masa y el tercero de la distancia que separa el monte del parque de madera de la industria transformadora.

La superioridad de una especie sobre otra sólo se pone de manifiesto cuando se tiene en cuenta el proceso de transformación.

En el caso de la transformación de la madera en pasta de celulosa mediante cocción kraft y blanqueo ECF, para el cálculo del coste de la madera en el proceso hay que tener en cuenta el Consumo Específico de Madera (CEM), que se expresa como los metros cúbicos que son necesarios para obtener una tonelada de pasta (TOVAL, 2002).

Dicho consumo específico es función de dos variables, la densidad básica y el rendimiento bruto en cocción y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C.E.M. = \frac{1.000 \times S_p}{Db \times Rb \times \rho_b}$$

donde:

C.E.M., es consumo específico de madera, expresado en m³/tAD

Sp, es la sequedad de la pasta, expresada en tanto por uno. Hemos considerado este valor constante e igual a 0,90

Db, es densidad básica de la madera, expresada en kg.m⁻³

Rb, es rendimiento bruto en cocción a I. Kappa 20, expresado en tanto por uno

ρ_b, es el rendimiento en blanqueo expresado en tanto por uno. Hemos considerado este valor constante e igual a 0,97

La densidad básica, que se define como el peso seco en estufa dividido por el volumen saturado en agua, expresa la cantidad de materia seca disponible en un determinado volumen de madera (TOVAL, 2002), es uno de los parámetros tecnológicos a tener en cuenta en muchos de los procesos de transformación, entre otros, en los energéticos y en los de obtención de pasta de celulosa, sin olvidar el más inmediato como es el almacenamiento de carbono en su estructura.

La densidad depende del tamaño y cantidad de los vasos, del espesor de la pared celular, del diámetro de las fibras y de la composición química de la madera, de tal forma que es un carácter específico (DOWNES et al., 1997), aunque sometido a una cierta variación debida tanto a efectos ambientales como a la posición dentro de la planta. En algunas especies la densidad de la madera aumenta desde la periferia del tronco hacia el interior y desde la copa a la coza y en otras todo lo contrario. En unas, cuando el anillo de crecimiento anual es mayor, menor es la densidad, pero en otras ocurre al revés, de tal forma que dichas características específicas deben ser tenidas en cuenta a la hora de la selección de especies y de la aplicación de tratamientos culturales (KOLLMANN, 1959).

El rendimiento bruto es la cantidad remanente de los componentes de la pared celular después de ser sometida la madera al proceso de cocción y se expresa como porcentaje sobre la materia seca introducida en el digestor. El rendimiento está directamente asociado a la composición química de la madera en términos cuantitativos.

Los beneficios asociados al mayor rendimiento bruto en cocción son: la reducción de los requerimientos de madera, la reducción de productos químicos, la mejora de la eficiencia de los digestores, un menor contenido en sólido de las leñas negras, mayor eficiencia del circuito de recuperación-caustificación y el incremento global de la capacidad de producción (DEAN, 1995; DOWNES et al., 1997).

En la tabla 1, se muestran los valores medios de densidad básica, rendimiento bruto en cocción y el consumo específico de madera calculado con dichos valores para dos especies de *Eucalyptus* utilizadas en la producción de pastas de celulosa, *E. globulus* en la Península Ibérica y *E. grandis* en Brasil.

Como se puede ver, el consumo específico de madera para *E. globulus* es un 25% inferior que para *E. grandis*, lo que significa un ahorro equivalente en coste de madera, a igualdad de crecimiento, para fabricar una tonelada de pasta, o de otra manera, que para igualar este coste es necesario que *E. grandis* crezca más de un 50% que *E. globulus*.

Pero, como se puede comprender, esta no es la única diferencia importante que a nivel económico ofrece el empleo de una especie u otra, ya que la capacidad de las instalaciones industriales, necesitarán ser ampliadas si se utiliza *E. grandis*, con el consiguiente coste añadido de amortización, o si las instalaciones no se varían, por una mayor repercusión de los costes fijos por tonelada de pasta fabricada (GREAVES & BORRALHO, 1996). Lo que en definitiva, si se quiere enjugar todo ello con el coste de la made-

Especies	Densidad básica (kg/m ³)	Rto. bruto en cocción (%)	C.E.M. (m ³ /tAD)
<i>E. globulus</i>	555	56,4	2,96
<i>E. grandis</i>	460	50,7	3,98

Tabla 1. Densidad básica, rendimiento bruto en cocción a I.Kappa 20 y consumo específico de madera de *E. globulus* y *E. grandis*. (Fuente: TOVAL, G. 2002)

ra, las exigencias en crecimiento supondrían valores inalcanzables en la práctica.

En los procesos de transformación de la biomasa en energía así como en el almacenamiento de carbono en su estructura, la densidad básica diferencia unas especies de otras a la hora de expresar la densidad energética y el contenido en carbono del volumen de biomasa producido.

En la tabla 2 se presentan las densidades básicas medias de diferentes especies leñosas y su correspondiente densidad energética, considerando un valor medio para todas ellas de Poder Calorífico Inferior al 15% de humedad de 14.659 kJ.kg⁻¹ (3.500 kcal.kg⁻¹), donde se puede apreciar la importancia del carácter comentado, puesto que para igualar en términos de producción energética a *Eucalyptus maidenii*, *Paulownia tomentosa* debe crecer más del doble.

Otro aspecto a considerar en los procesos de generación de energía es la cantidad de cenizas aportada por el biocombustible, ya que altos contenidos de la misma producen problemas de índole diversa en las calderas, tales como, mal

funcionamiento, pérdida de eficiencia por ensuciamiento y corrosión, cuyo responsable principal es el cloro e incremento de emisiones por niveles elevados de azufre. En general las herbáceas tienen un contenido mucho mayor que las leñosas, de tal forma que su contenido en cenizas puede llegar a ser hasta tres veces superior, el contenido en cloro hasta 150 veces y el de azufre hasta 40 veces mayor, tal como se puede ver en la tabla 3 (BALLESTEROS PERDICES, 2008).

Asimismo, el contenido en cenizas en las leñosas se reparte de manera desigual entre los componentes de la biomasa, tal como se presenta en la tabla 4. Donde, por un lado, se puede ver para *E. globulus* la composición de la biomasa en términos relativos y la aportación de cenizas de cada uno de dichos componentes (BRAÑAS et al. 2000).

El componente mayoritario, la madera, aporta sólo el 0,29% de las cenizas mientras que las hojas, que representan tan solo el 7% de la biomasa, aporta casi un 3% de las cenizas, por lo que se prefiere para los cultivos energéticos las

Especie	Densidad básica (kg/m ³)	Densidad energética (kJ/m ³)
<i>Paulownia tomentosa</i>	250	3.664.750
<i>Populus</i> sp.	310	4.544.290
<i>Salix viminalis</i>	310	4.544.290
<i>Alnus glutinosa</i>	360	5.277.240
<i>Platanus</i> sp.	380	5.570.420
<i>Castanea</i> sp.	405	5.936.895
<i>Betula alba</i>	450	6.596.550
<i>Eucalyptus nitens</i>	455	6.669.845
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	480	7.036.320
<i>Acacia melanoxylon</i>	510	7.476.090
<i>Eucalyptus globulus</i>	550	8.062.450
<i>Eucalyptus maidenii</i>	580	8.502.220

Tabla 2. Densidades básica y energética de diferentes especies forestales leñosas. (Fuente: Elaboración propia)

Biomasa	Cenizas (% b.s.)	Cloro (% b.s.)	Azufre (% b.s.)
Serrín de pino	0,5-1,5	< 0,01	< 0,01
Chopo joven	1,5-3	< 0,01	0,02-0,03
Sorgo	5-10	0,5-1,5	0,03-0,06
Cardo	5-10	0,4-0,7	0,3-0,5
Brassica	4-8	0,2-0,5	0,3-0,8

Tabla 3. Concentración de cenizas de diferentes especies leñosas y herbáceas. (Fuente: BALLESTEROS PERDICES, 2008)

	Componentes de la biomasa (%)	Aportación de cenizas por unidad de biomasa (%)
Madera	72	0,29
Corteza	12	1,86
Ramas	7	0,99
Ramillos	2	1,82
Hojas	7	2,67
Total	100	7,63
* N, S, P, K, Ca, Mg, Na y Mn		

Tabla 4. Composición de la biomasa y concentración de nutrientes* en cada uno de sus componentes en plantaciones jóvenes de *E. globulus* del Noroeste peninsular. (Fuente: BRAÑAS et al., 2000)

especies de hojas caducas a las perennes o en otro caso, tenerlo en cuenta a la hora de la cosecha para evitar la recogida de hojas y ramillos.

Desde el punto de vista de la tecnología de los cultivos es necesario que las especies en cuestión tengan una alta capacidad de rebrotar de cepa o de raíz ya que el cultivo se basa en turnos sucesivos que debido al rebrote aumenta la densidad del mismo y el incremento al principio y mantenimiento después de la capacidad productiva de la finca (PICCHI GIANNI, 2007).

En otros productos forestales, como por ejemplo el corcho, los caracteres tecnológicos son de una importancia económica fundamental, por lo que tendremos que tener presente el calibre, la porosidad, el color, la textura, el grano y su capacidad de resistencia a plagas y enfermedades para obviar los defectos por ellos provocados (ELENA ROSSELLÓ, 2006; REMACHA GETE, 2008).

En todos los casos, debe tenerse presente la necesidad de mecanización de todas y cada una de las operaciones con los objetivos de mejorar su calidad y disminuir costos.

Fundamentos selvícolas: factores limitantes

La selvicultura es el manejo científico de los bosques para la producción continua de bienes y servicios (DANIEL et al., 1982).

Es decir, conceptualmente la selvicultura comprende el estudio de las agrupaciones vegetales, sus clases naturales de edad, el grado de solidaridad de los individuos, estado y evolución sinicial, espesura, la acción del medio sobre los seres vivientes y la de estos sobre el medio, el hábitat, la estación, temperamento, porte y enraizamiento, longevidad y modos de reproducción de las especies, así como la masa principal y accesoria, formas fundamentales de

masas, método de beneficio, tratamientos y métodos de corta, turno y posibilidad (RAMOS FIGUERAS, 1979).

Lo que en conjunto o por separado son fundamentos esenciales para la mejora forestal de cualquier especie y con enormes repercusiones económicas.

Para el estudio de la calidad de estación y la relación de la especie con los parámetros que la definen, entendemos que hay que basarlo en el concepto de factor limitante (ODUM, 1972), el cual surge de la combinación de la ley del mínimo y del concepto de los límites de tolerancia, resultando que los factores que rigen a los organismos son:

- La cantidad y variabilidad de los materiales de los que existe un requisito mínimo
- Los factores físicos que son críticos, y
- Los límites de tolerancia de los organismos a éstos y otros componentes del medio

La utilidad principal del concepto de los factores limitantes reside en el hecho de que proporciona una herramienta para el estudio de situaciones complejas. Por ello deberá prestarse atención a aquellos factores que son funcionalmente significativos para el organismo en algún momento de su ciclo vital, fijándonos los siguientes objetivos: en primer lugar, descubriendo por medio de observación, análisis y experimentación, qué factores son funcionalmente significativos y en segundo, averiguar cómo estos factores producen sus efectos sobre el individuo, la población o la comunidad.

El concepto amplio de factores limitantes incluye las relaciones biológicas recíprocas o factores biológicos, pero los factores físicos son más fácilmente tratables, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, sin olvidar los pri-

meros, los factores limitantes considerados como tales por la mayoría de los autores son: temperatura, radiación: luz, agua, acción conjunta de la temperatura y humedad, gases atmosféricos, sales biogénicas: elementos macro y micronutrientes, corrientes y presión, el suelo y el fuego.

Además es una forma de mejora continua, ya que una vez que se consigue atajar los efectos de los primeros, al menos hasta un estado económicamente admisible, surgen otros que muestran el camino a seguir.

Para muchas especies forestales, el frío, el encharcamiento, la sequía y el tipo de suelo, son factores que comprometen su existencia, mientras que la fertilidad, el perfil edáfico, la litología, otras condiciones climáticas, la densidad de plantación, el espaciamiento, el turno, la competencia, etc., etc., limitan el crecimiento y la calidad de sus productos.

Los factores limitantes, por un lado, son la base para la zonificación del área de actuación del Plan de Mejora y por otro, sirven para definir los objetivos de los Programas de Mejora, Genética y Selvícola, así como las actividades de los mismos.

Fundamentos genéticos

El conocimiento de cómo varían los caracteres y dónde reside dicha variación, a nivel de especies, procedencias, familias e individuos, es esencial para el progreso continuo y seguro de la mejora genética (COTTERILL & MACRAE, 1997).

En este contexto, el conocimiento de la variación genética poniendo de manifiesto la influencia de los efectos no aditivos y su importancia respecto a los aditivos, como en el caso concreto de *E. globulus* (TOVAL et al., 2004), no sólo ha servido para confirmar la importancia de la vía clonal como método de mejora (PARDOS CARRIÓN, 1998), sino que además, ha contribuido a que muchos planes de mejora con otras especies forestales consideren dichos efectos, convirtiéndose por ello, algunas especies de eucaliptos, en modelos de referencia.

La mayor o menor heredabilidad de cada uno de los caracteres y la influencia de los efectos aditivos y no aditivos, deben servir para determinar cuáles son los rasgos en los que se debe trabajar y definir la estrategia del Programa de Mejora Genética.

ESTRATEGIA DE MEJORA

La estrategia de mejora estará basada en la identificación de los factores limitantes, tal como los hemos definidos anteriormente, lo que servirá para la delimitación de las Zonas de Mejora y junto a los objetivos forestales y tecnológicos, para la determinación de los caracteres genéticos y las operaciones selvícolas que se deben mejorar.

Dado el carácter estratégico del Plan de Mejora las actividades deberán ser permanentes y continuas para alcanzar las metas propuestas año tras año, por lo que la consecución de la información de forma ordenada en el tiempo es crucial para los avances en todos los ámbitos.

Zonas de Mejora

Las Zonas de Mejora son recintos territoriales homogéneos que se diferencian entre sí porque se produzca alguna diferencia cualitativa por el uso de diferentes materiales de reproducción o tratamientos selvícolas o culturales. Dentro de cada una de las Zonas de Mejora pueden existir diferencias cuantitativas debido al gradiente de variación de uno o más factores limitantes que la definen.

En primer lugar es necesario identificar los principales factores limitantes que afectan a las especies consideradas en cada una de las regiones de actuación. La sequía meteorológica, las heladas, la litología, la hidromorfía edáfica, las plagas y enfermedades, etc., deben ser considerados como tales. Con la ayuda de la información litológica disponible y con la metodología que hemos desarrollado para la cuantificación y clasificación del clima (TOVAL Y VEGA, 1982), se pueden cuantificar y clasificar estos factores limitantes y con ellos realizar una primera delimitación de las Zonas de Mejora.

Dichos estudios sirven, al tiempo, para establecer homologías entre las regiones de actuación del Plan y el área de distribución natural de las especies que se consideren.

Los factores limitantes comunes a una región no sirven para definir Zonas de Mejora, aunque deben ser tenidos en cuenta para proyectar actividades de mejora.

La importancia de las Zonas de Mejora es múltiple, por un lado, sirven para proyectar sobre el territorio los ensayos genéticos y selvícolas, de resulta de los cuales pueden deducirse las interac-

ciones cualitativas que definen los límites de las mismas, por lo que el proceso es interactivo, pudiendo que los recintos varíen, total o parcialmente, con el conocimiento cada vez más perfecto de los factores limitantes o porque se consideren otros nuevos. Por otro lado, conocida la superficie de actuación se puede valorar la conveniencia o no de acometerla y estimar los resultados globales.

Variación genética

El conocimiento de la variación genética debe ser el primer objetivo a cubrir en el Programa de Mejora Genética, por un lado, mediante la selección masal de individuos sobresalientes de las especies del Plan que existan en las regiones donde se vayan a implantar las plantaciones forestales y los cultivos energéticos, con objeto de su clonación posterior, además de obtener una parte de la Población Base de Mejora, aprovechando la variabilidad existente en las masas instaladas en cada una de las regiones de actividad forestal y por otro, con el establecimiento de ensayos de especies, procedencias, familias e individuos para conocer dicha variabilidad y dónde reside.

La variación entre especies, tal como se ha comentado anteriormente, pone de manifiesto su importancia en los rasgos de interés, especialmente la adaptación y crecimiento, además de en otros caracteres de índole selvícola o tecnológico, pero dicha variación se encuentra además dentro de cada especie en función de la procedencia, las familias y los individuos.

Entre los más antiguos ensayos de procedencias se encuentran los establecidos en 1938 con una colección IUFRO de semillas europeas de *Pinus sylvestris*. Los primeros resultados fueron publicados a la edad de 18 años correspondientes a una parcela instalada en New Hampshire en EE.UU., mostrando una amplia variación entre procedencias en numerosos caracteres (WRIGTH & BALDWIN, 1957). En la figura 7 hemos representado los resultados de la altura media total alcanzada por las diferentes procedencias, donde se puede ver que los orígenes centroeuropeos doblan en altura a los escandinavos. Los autores consideraron la procedencia Latvia-Estonia, como la más adecuada teniendo en cuenta su crecimiento y forma en comparación con las restantes.

Otra parcela de la misma colección instalada en Lubien (Polonia) en 1938 y medido su crecimiento en 1997, es decir, con 59 años, arroja resultados en cuanto a procedencias muy similares a los del ensayo anterior, por cuanto el crecimiento medio anual de la procedencia Latvia-Estonia duplica al de las procedencias Escandinavas (CHMURA, 2000).

En la figura 8 hemos representado conjuntamente los resultados de ambos sitios, donde se puede ver, por un lado, el carácter predictivo de la altura juvenil en relación al crecimiento a edad adulta y por otro, la estabilidad genética de las procedencias.

En España el primer ensayo de procedencias se instaló en Galicia para estudiar el comportamiento racial de *Pinus pinaster*, cuyos

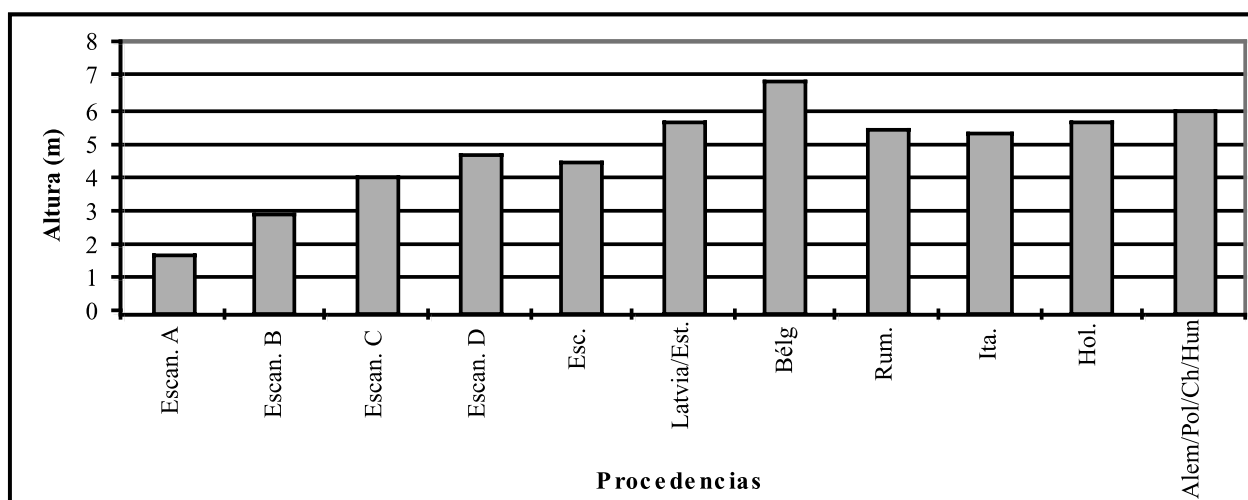


Figura 7. Altura media de procedencias de *Pinus sylvestris* a los 18 años de edad en New Hampshire (USA). (Fuente: WRIGTH & BALDWIN, 1957)

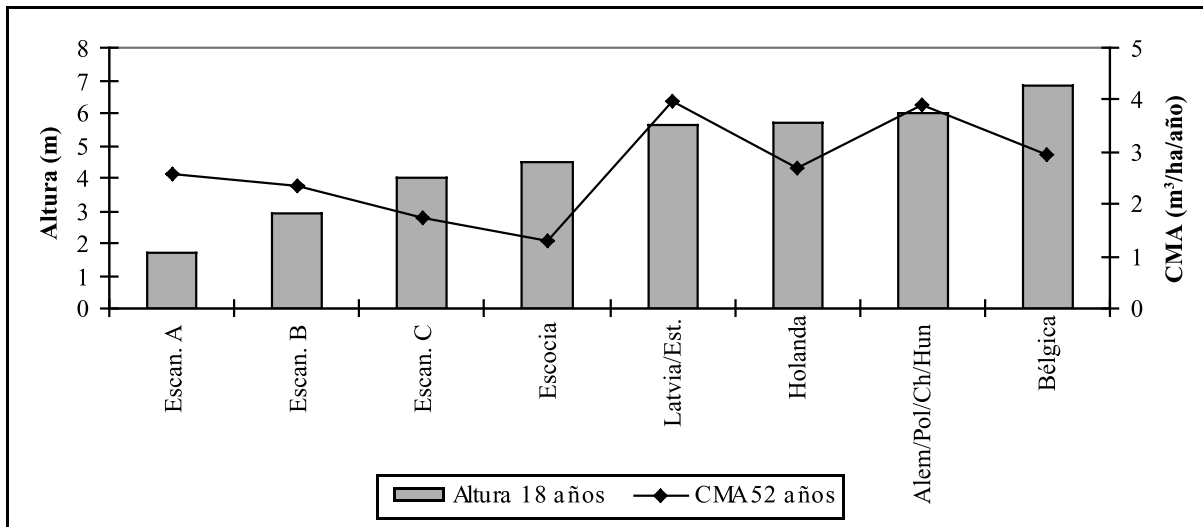


Figura 8. Altura media alcanzada por las procedencias comunes en New Hampshire (USA) y CMA en Lubien (Polonia). (Fuente: CHMURA, 2000)

primeros resultados fueron los obtenidos de las mediciones efectuadas a los 9 y 10 años de edad (MOLINA RODRÍGUEZ, 1965).

En este punto no quiero desaprovechar la oportunidad para reivindicar la figura de Fernando Molina que con este trabajo realizado en la década de los 50, pone en práctica por primera vez en España y en el campo forestal las técnicas de diseño y análisis de experimentos de Fisher, cuya obra traducida al castellano aparece en 1949 (FISHER, 1949) y que es en ese mismo año en el que se toma conciencia en el mundo

científico de la importancia del trabajo de Fisher para la ciencia experimental a raíz del Simposium de Berkeley (NEYMAN, 1949).

Pues bien, los resultados del crecimiento en altura, que presentamos en la figura 9, muestran que la procedencia local de Arbo (Pontevedra) y la de Las Landas, ambas atlánticas, destacan en crecimiento en altura a la edad de 10 años sobre el resto de las procedencias.

En el ensayo establecido al año siguiente en el mismo lugar que el anterior donde se incluyeron otras 5 procedencias, los resultados a los 9 años

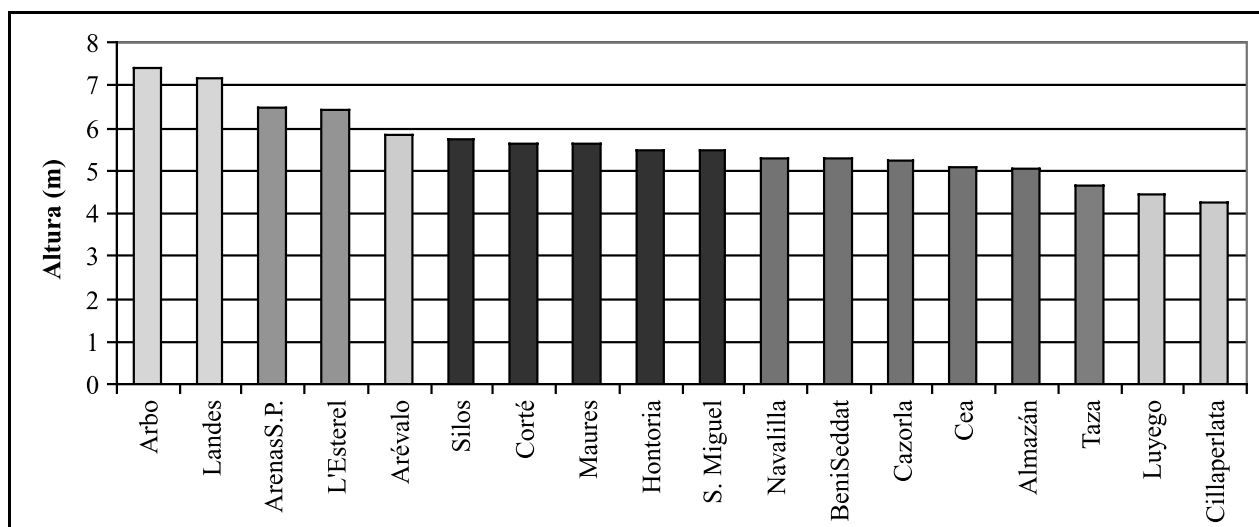


Figura 9. Altura media de las procedencias de Pinus pinaster a los 10 años del ensayo de F. Molina en Galicia. (Fuente: MOLINA RODRÍGUEZ, 1965)

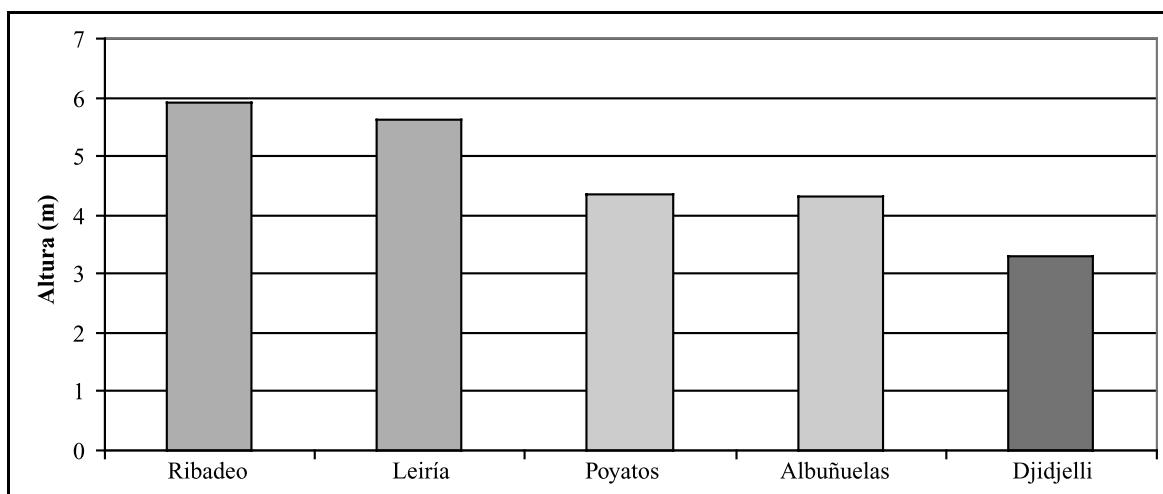


Figura 10. Altura media de las procedencias de *Pinus pinaster* a los 9 años del ensayo de F. Molina en Galicia. (Fuente: MOLINA RODRÍGUEZ, 1965)

son los que hemos recogidos en la figura 10, donde asimismo las procedencias atlánticas, Ribadeo (Lugo) y Leiría (Portugal), superan a las restantes.

En 1955 se estableció en Nueva Zelanda otro ensayo de procedencias de *Pinus pinaster* con representación de 44 procedencias que barren todo el área natural de la especie e incluye dos lotes de semillas de origen local. Los resultados de crecimiento en altura a los 5 años que presentamos parcialmente en la figura 11, vuelven a mostrar que las procedencias atlánticas por su mayor crecimiento y por su aceptable forma son la mejor fuente de semilla para la zona del ensayo (SWEET & THULIN, 1962).

En 1967 se estableció otro ensayo con 54 procedencias de *P. pinaster* en 6 sitios del centro de España. Los resultados a los 32 años, que se

representan por el volumen unitario medio alcanzado por cada una de las procedencias en la figura 12, muestran que las procedencias de Arenas de San Pedro y Leiría son líderes en crecimiento y forma (ALIA MIRANDA et. al., 2001), lo que pone de manifiesto nuevamente la estabilidad genética de algunas procedencias, la buena correlación juvenil-adulto y las ganancias que se obtienen por emplear las procedencias adecuadas. En este caso concreto la mejor procedencia supera en un 38% a la media del experimento.

Un paso más en la mejora de *Pinus pinaster* es el desarrollado por el Plan de Mejora Genética Forestal para Galicia con la creación de huertos semilleros clonales a partir de la selección de individuos superiores y su injertado posterior (VEGA et al., 1991).

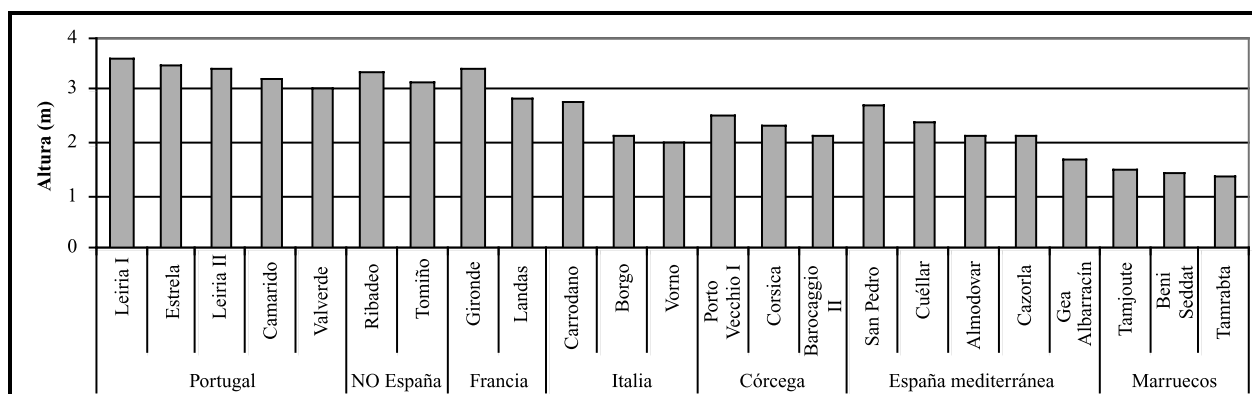


Figura 11. Crecimiento en altura de procedencias de *Pinus pinaster* a los 5 años en el ensayo de Sweet y Thulin en Nueva Zelanda. (Fuente: SWEET & THULIN, 1962)

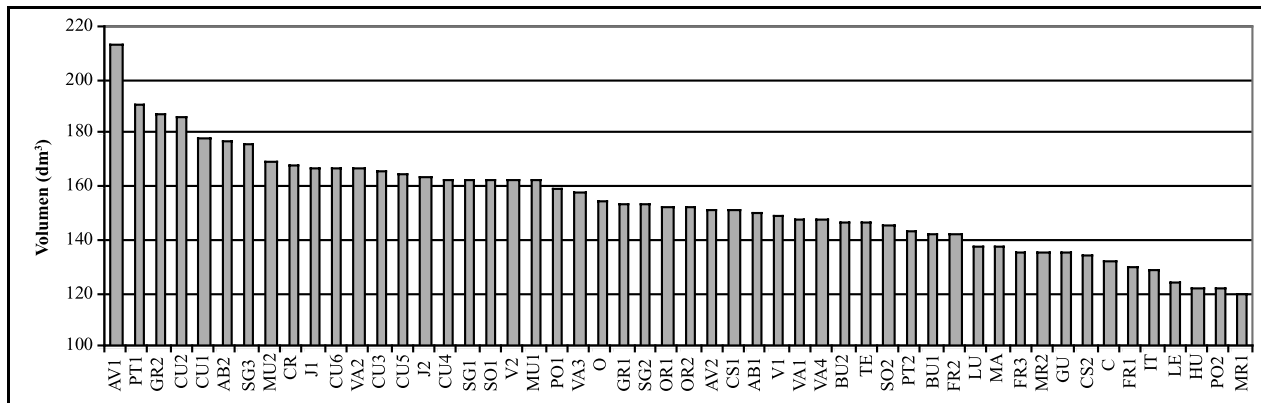


Figura 12. Volumen medio unitario alcanzado por las procedencias de *Pinus pinaster* a los 32 años en el ensayo del centro de España. (Fuente: ALIA MIRANDA et al., 2001)

En la figura 13 hemos representado gráficamente los resultados de las alturas medias alcanzadas por las progenies de medios hermanos de siete de los progenitores del huerto semillero de Sergude donde vemos que todas ellas destacan significativamente sobre el control que representa a la semilla comercial de origen local. En concreto la familia 1008 supera de promedio un 40% al control.

Otra demostración de la importancia de la selección de procedencias la hemos comprobado en los ensayos de *Pseudotsuga menziesii* que realizamos a lo largo y ancho del Norte de España. Como muestra hemos representado la altura media alcanzada a los 5 años por los orígenes incluidos en la parcela instalada en Ataun (Guipúzcoa) en Marzo de 1980, (Figura 14),

donde la mejor procedencia supera un 130% a la de peor comportamiento (TOVAL et al., 1993).

La selección individual la hemos aplicado asimismo a los clones de castaños híbridos resistentes a la enfermedad de la tinta entre 73 clones de la colección del Centro Forestal de Lourizán. A través de la altura alcanzada a los 5 años se encontraron diferencias significativas entre ellos de las que hemos representado en la figura 15 los resultados de los cinco mejores y cinco peores clones del experimento (TOVAL, 1984).

La ganancia esperada por emplear algunos de los clones del primer grupo con respecto a los del segundo es del 180%.

Otra demostración de la importante variabilidad existente a nivel intraespecífico la encontramos en

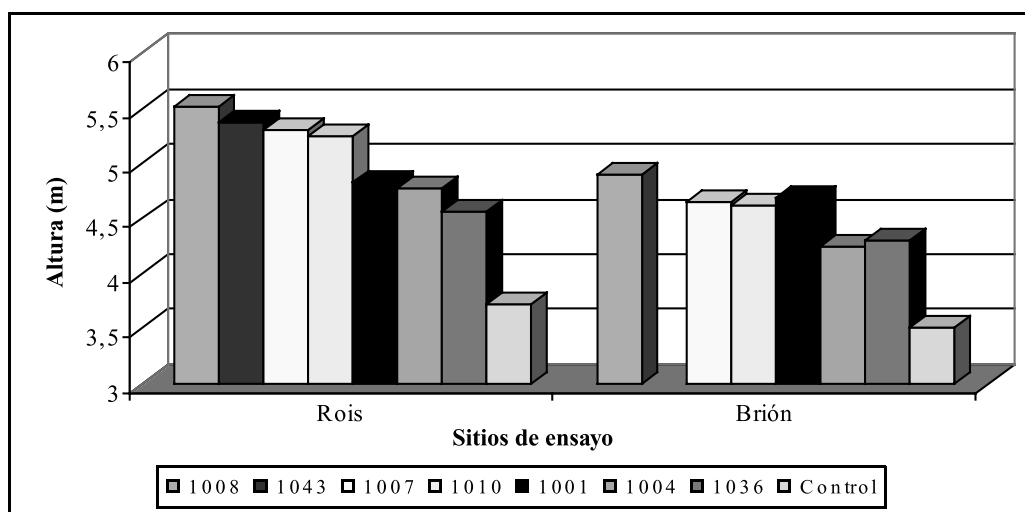


Figura 13. Altura de las progenies de medios hermanos del huerto semillero de *Pinus pinaster* de Sergude. (Fuente: VEGA et al., 1991)

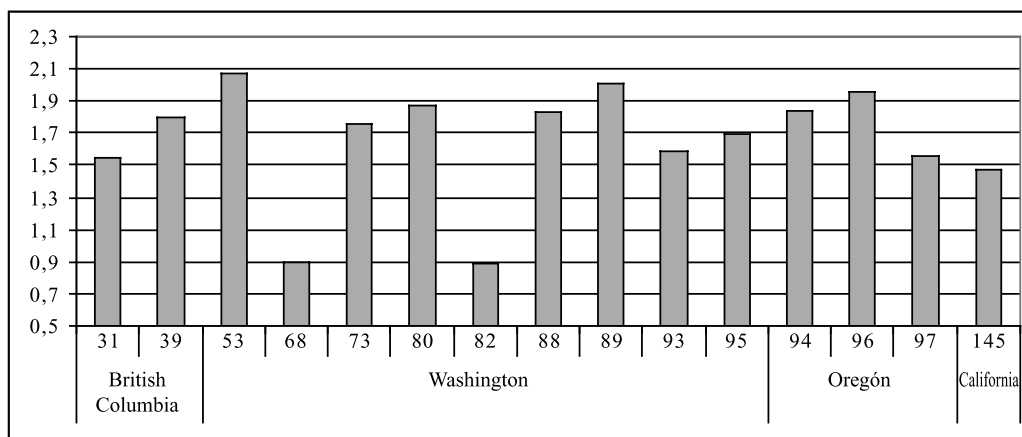


Figura 14. Altura media de las procedencias de *Pseudotsuga menziesii* en la parcela de Ataun (Guipúzcoa). (Fuente: TOVAL et al., 1993)

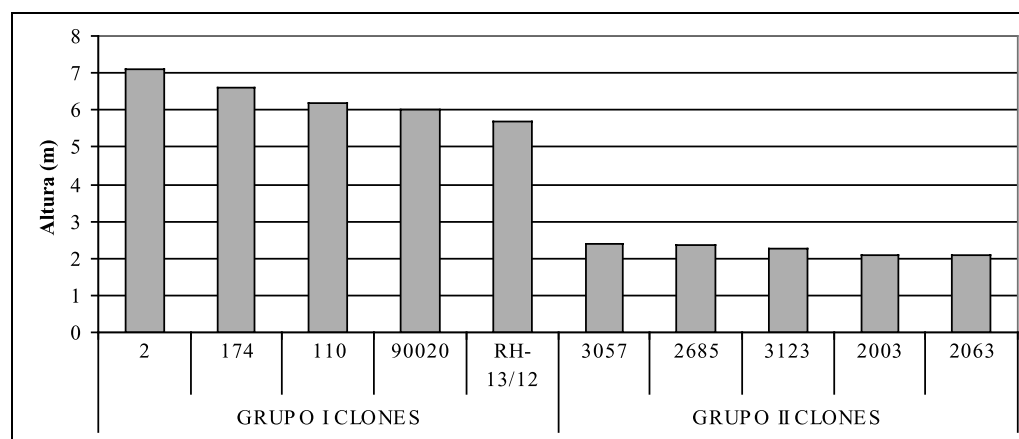


Figura 15. Altura media alcanzada por algunos clones de castaño híbrido resistentes a la tinta a los 5 años de edad. (Fuente: TOVAL, 1984)

el ensayo de las progenies de medios hermanos de 48 árboles superiores seleccionados en Galicia de *Betula celtiberica* (VEGA ALONSO et al., 1993).

La variación encontrada entre progenies en cuanto a la altura total alcanzada al primer año, las segrega en catorce grupos diferentes, cuyas medias hemos representado en la figura 16, donde se puede ver que la diferencia entre los grupos extremos es del 150%.

En el caso de *Eucalyptus globulus*, especie que hemos estudiado en profundidad, la selección masal ha conducido a la obtención de clones que destacan no sólo por su capacidad de enraizamiento, sino por sus características de adaptación a la sequía, al ataque de *Phoracantha* y en crecimiento individual (SORIA & BORRALHO, 1997), tal como se puede ver en la tabla 5, dichos clones destacan

sobre todas las procedencias e igualan el promedio de las cinco mejores familias en resistencia al ataque de *Phoracantha semipunctata* a los 5 años y supervivencia a los 11, poniendo de manifiesto la eficacia de la selección masal y las posibilidades de mejora que existe seleccionando individuos superiores dentro de las mejores familias.

Por otra parte, en las figuras 17 y 18 hemos representado los componentes de la varianza de los valores de mejora del rendimiento bruto en cocción y densidad básica de la madera de *E. globulus*, respectivamente, donde se puede ver la importancia de las procedencias, familias e individuos para la mejora de los caracteres tecnológicos de trascendencia económica definitiva para los procesos industriales.

La conclusión general es que existe suficiente variación dentro de las especies foresta-

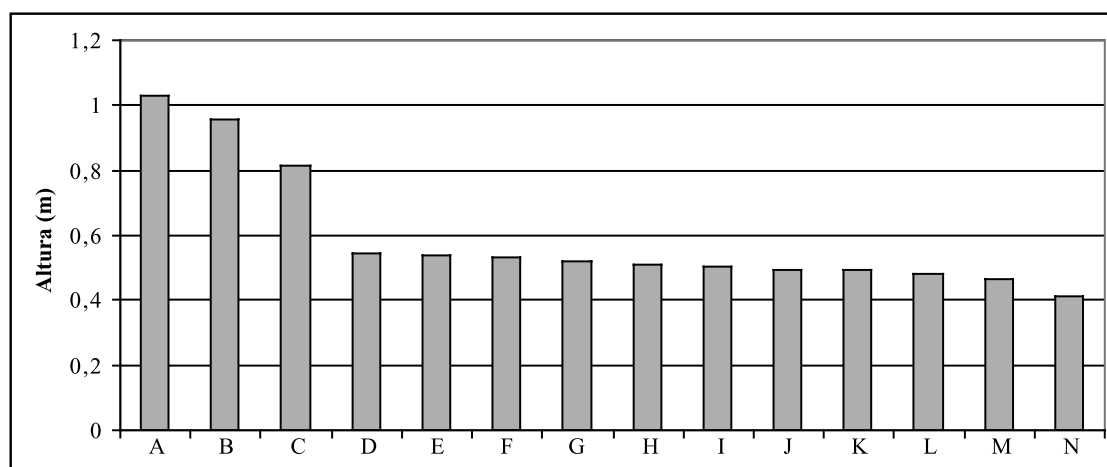


Figura 16. Altura media de cada uno de los grupos de progenies de medios hermanos de *Betula celtiberica* de 1 año de edad. (Fuente: VEGA ALONSO et al., 1993)

Razas	Resistencia a <i>Phoracantha</i> 5 años (%)	Supervivencia 11 años (%)
Raza local		
Clon 334-1-AR	86	73,85
Clon 115-2-PM	81	71,39
Semilla comercial	57	47,85
W. Otways	53	42,00
Cape Patton	44	45,25
E. Otways	58	54,25
Strzelecki	64	43,00
S. Gippsland	56	36,95
Lighthouse	37	29,27
Flinders Island	63	42,08
S. Furneaux Group	67	41,90
St. Helens	59	41,42
NE. Tasmania	48	26,99
Interior NE Tasmania	49	39,18
Dromedary	51	43,93
SE Tasmania	48	26,01
South Tasmania	48	20,68
Tasman Peninsula	50	18,34
West Tasmania	41	25,72
King Island	36	14,37
Best 5 austr. Families	81	
LSD(1% level)	12	

Tabla 5. Medias estimadas para resistencia a *Phoracantha* a los 5 años de las razas australianas, lote de semilla comercial de Huelva y dos clones de *Eucalyptus globulus*. Se incluye la resistencia a *Phoracantha* de las 5 mejores familias australianas, así como las medias estimadas para supervivencia a los 11 años. Fuente: SORIA & BORRALHO, 1997)

les para la mayor parte de los caracteres de interés, a nivel de procedencias, familias e individuos, como para abordar su mejora mediante un Programa de Mejora Genética a través de dos líneas estratégicas, por un lado la selección de progenitores y sus cruzamientos controlados y por otro, siempre que sea posi-

ble, la multiplicación de los individuos selectos por la vía clonal.

Clones: Reproducción vegetativa

Los importantes logros conseguidos con la clonación de árboles procedentes de selección masal y de cruzamientos controlados e incluso

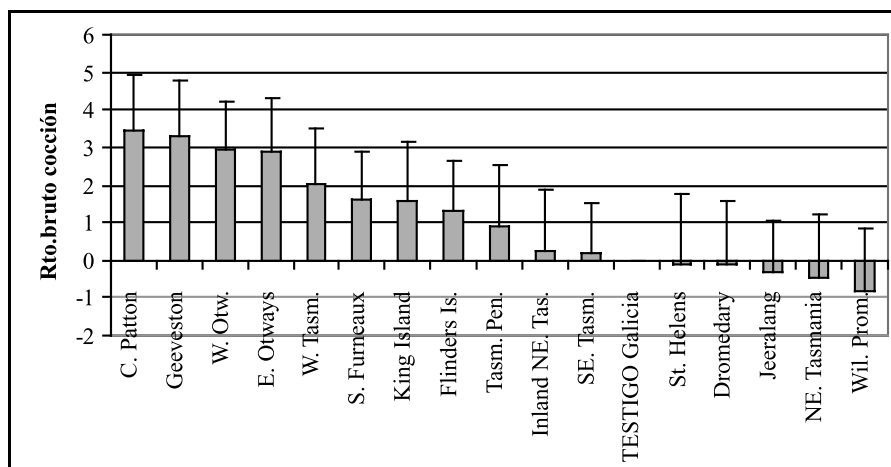


Figura 17. Componentes de la varianza de los valores de mejora de rendimiento bruto en cocción de la madera de *E. globulus*. (Fuente: Elaboración propia)

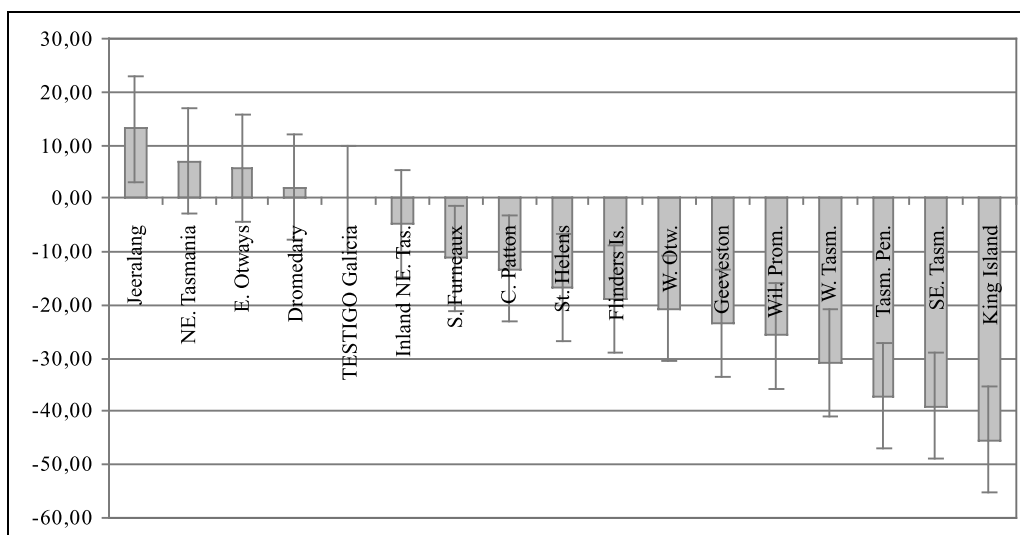


Figura 18. Componentes de la varianza de los valores de mejora de densidad básica de la madera de *E. globulus*. (Fuente: Elaboración propia)

de la creación de nuevos híbridos interespecíficos, base de los importantes logros en la mejora forestal en Brasil (CLAUDIO-DA-SILVA et al., 2005) y la confirmación posterior de la importancia de los efectos no aditivos, hace que los clones y por tanto la reproducción vegetativa sea un factor estratégico del Plan de Mejora.

En la tabla 6 y como ejemplo, se presentan las ganancias obtenidas en dos Zonas de Mejora de la Provincia de Huelva con el clon de *E. globulus* denominado “Anselmo” respecto al uso de semilla comercial, de promedio un 51% en crecimiento medio anual (TOVAL, 2004). Ganancias debidas única y exclusivamente a la mejora genética ya

que en ningún caso se aplicaron las técnicas selvícolas mejoradas que más adelante comentaremos.

Cuando hablamos de clones en especies forestales solemos referirnos al género *Populus*, que por la facilidad de enraizamiento de sus estacas, ha permitido el desarrollo de lo que se ha dado en llamar la populicultura (PADRÓ SIMARRO, 1992), pero que por las ventajas que hemos comentado no debería ser considerada como una técnica residual aplicable sólo a especies que gozan de esta facultad de forma tan clara.

Uno de los objetivos fundamentales del Plan debe ser la puesta a punto de técnicas de reproducción vegetativa para las diferentes especies,

	ARENALES COSTEROS			SIERRA			MEDIA
	Clon Anselmo	Semilla comercial	Ganancia genética (%)	Clon Anselmo	Semilla comercial	Ganancia genética (%)	Ganancia genética (%)
Altura (m)	20,3	17,5	16	22,4	17,5	28	22
Diámetro (cm)	17,2	17,2	0	14,6	12,9	13	7
Volumen (dm ³)	179	160	12	140	86	63	37
Supervivencia (%)	90,0	70,7	27	92,7	73,9	25	26
CMA (m ³ /ha/año)	10,7	7,9	35	13,8	8,3	66	51

Tabla 6. Ganancias obtenidas en repoblaciones comerciales con un clon en comparación con la masa seminal de *E. globulus* en el SO. de la Península Ibérica en terrenos de arenales costeros y sierra. (Fuente: TOVAL, 2004)

comenzando por el estudio de la variabilidad genética del rasgo enraizamiento.

En el caso de *Eucalyptus globulus*, especie considerada como muy recalcitrante, hemos estudiado la variación de la capacidad de enraizamiento de estaquillas de sus diferentes subrazas, habiendo determinado que Southern Furneaux y Southern Gippsland, destacan sobre el resto, aunque ésta última está representada sólo por una familia, (Figura 19). Como en otros caracteres, existen individuos de cualquiera de las subrazas que alcanzan porcentajes de enraizamiento tan elevados como los de la mejor, por lo que es una razón más para el des-

arrollo de la vía clonal como estrategia de mejora (CAÑAS et al., 2004).

Como en todo lo que proponemos, no sólo es necesario conocer los aspectos genéticos sino también las mejores condiciones ambientales para que se exprese dicho potencial. Es el caso de *Sequoia sempervirens*, donde la calidad del enraizamiento de sus estaquillas, medida como el número de raíces emitidas por las mismas, varía según el tipo de substrato empleado y la dosis de AIB disuelto en talco (Figura 20) (TOVAL Y PUERTO, 1982).

Hoy en día las expectativas de reproducción vegetativa, debido a los continuos avances en el cul-

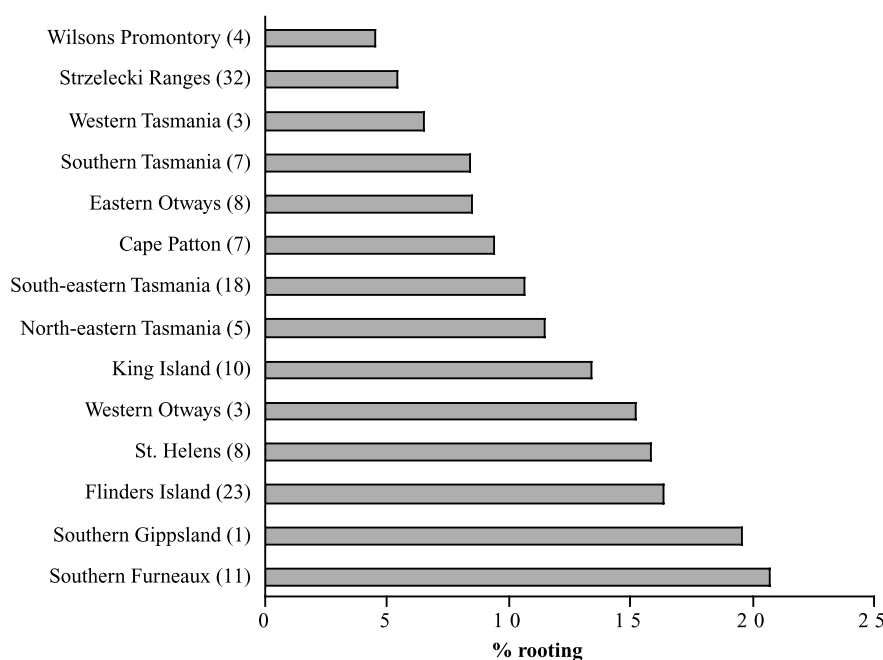


Figura 19. Variación de las subrazas de *Eucalyptus globulus* en porcentaje de enraizamiento. El número entre paréntesis indica el número de familias que representan al grupo genético. (Fuente: CAÑAS et al., 2004)

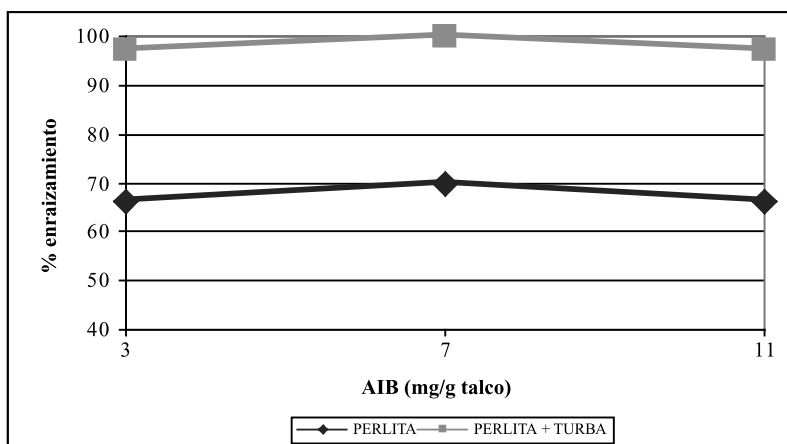


Figura 20. Número de raíces emitidas por estaquilla de *Sequoia sempervirens* según dosis de AIB y substrato. (Fuente: TOVAL Y PUERTO, 1982)

tivo de tejidos, están abiertas a todas las especies. Las técnicas de cultivo *in vitro* y muy especialmente la embriogénesis somática, permite no sólo la clonación masiva de individuos selectos sino también la conservación *ex situ* de especies o endemismos forestales amenazados, puesto que se ha demostrado la posibilidad de inducirla a través de tejidos de árboles maduros (TORIBIO *et al.*, 2004).

En por ello que no sólo las técnicas de macropropagación sino también las de micropropagación deben ser una de las líneas estratégicas del Programa, para además de poder incluir más individuos superiores en la Población de Propagación, como medio para intentar rebajar los costes de producción de planta clonal.

La embriogénesis somática (OLLER *et al.*, 2006) es una técnica que debe ser desarrollada y que puede elevar las tasas de producción de un

mismo clon a niveles competitivos, además de que sería posible movilizar directamente ejemplares adultos seleccionados (Figura 21).

Otra técnica biotecnológica, la de los marcadores moleculares, debe servir de apoyo a la mejora genética, tanto para establecer la huella genética de los materiales clonales, como para la detección precoz de la variación somaclonal en los cultivos *in vitro* y para dirigir los cruces controlados (TORIBIO Y CELESTINO, 2000).

Selvicultura clonal

La disponibilidad de clones a escala operativa permite avanzar en la mejora de las técnicas selvícolas, ya que al disminuir la variabilidad individual, propia de las plantas de semilla, se ponen de manifiesto de forma estadísticamente significativa las diferencias entre tratamientos. De tal mane-



Figura 21. Embriones somáticos de *Eucalyptus globulus*. (Fuente: OLLER *et al.*, 2006)

ra que el potencial productivo de los clones se incrementa de manera substancial cuando las técnicas selvícolas son las apropiadas, ya que las mejoras conseguidas con la silvicultura son acumulables a las obtenidas con la mejora genética.

Todas las operaciones son susceptibles de mejora, por ejemplo, la preparación del suelo, las técnicas de implantación, la densidad de plantación, las fertilizaciones, inicial y de mantenimiento, el control integrado de plagas, la prevención de incendios, etc.

Como ejemplo de lo que decimos en cuanto a las técnicas de preparación de suelos presentamos los resultados obtenidos en el SO español en la implantación de *Eucalyptus globulus* sobre arenales costeros, que son terrenos de muy escasa pendiente y que debido a su estructura arenosa no se había considerado necesario prepararlos profundamente, de cualquier forma, entendimos que tal tipo de preparación debía favorecer el que las raíces prosperasen en profundidad, que las plantas soportaran mejor la sequía veraniega, además de que un mejor anclaje les permitiera una mayor resistencia al viento. A continuación presentamos los resultados, a los 3 años de edad, entre diferentes tratamientos de preparación del suelo (RUIZ et al., 2001).

Los tratamientos ensayados fueron:

- T1.** Subsulado cruzado de toda la superficie mediante dos pases cruzados (90°) con tractor oruga tipo D-8 y 3 rippers. Posteriormente gradeo de la superficie y marcado de la plantación por medio de dos pases cruzados con rejón zanjador (tractor agrícola doble tracción y 90 CV).
- T2.** Acaballonado mediante vertedera simple reversible suspendida en tractor agrícola de doble tracción (90 CV) y posterior marcado con un pase de zanjador de semejantes características que al utilizado en T1.
- T3.** Gradeo de toda la superficie mediante grada pesada de discos arrastrada por tractor agrí-

cola de doble tracción (90 CV). Posterior marcado de la plantación como en T1.

- T4.** Subsulado lineal de toda la superficie con tractor oruga tipo D-8 (3 rippers) y posterior marcado con un pase de zanjador como en T2.

En la tabla 7 se muestran los resultados de la comparación de medias entre tratamientos del análisis de varianza de los datos en los tres primeros años de vida del experimento, expresados en altura total y para el último año se incluye también el diámetro y las existencias sin corteza, expresadas en m³/ha.

Las diferencias muestran que los tratamientos que implican un subsulado profundo, los cuales no difieren significativamente entre sí, incrementan el volumen en un 127%, con respecto a los tratamientos más superficiales, siendo recomendable el T4, ya que supone un ahorro importante de los costos de preparación.

El empleo de clones en los experimentos ha permitido aclarar estas y otras cuestiones, tanto en masas recién instaladas como en masas de mediana edad.

En la figura 22 se muestran los resultados obtenidos con la fertilización inicial de una plantación clonal de *E. globulus* en un monte de la Provincia de A Coruña, donde la ganancia en altura media total de las mejores dosis y fórmulas fertilizantes es del 135% en el primer año con respecto al testigo sin fertilizar, diferencia que se sigue manifestando al tercer año, que aunque en términos relativos baja al 65%, la diferencia absoluta en altura media total es de 3 m (BASURCO et al., 2001).

Otro ejemplo es la influencia de la profundidad de plantación en el crecimiento de la masa, tal como se muestra en la figura 23, donde se pone de manifiesto que por cada centímetro de profundidad de plantación sobre el cuello de la raíz a la edad de 6 años las existencias disminuyen en 0,42 m³.ha⁻¹ (RUIZ et al., 2004).

Tratamiento	Altura 1 ^{er} año (m)	Altura 2 ^o año (m)	Altura 3 ^{er} año (m)	DAP 3 ^{er} año (cm)	Vol/ha 3 ^{er} año. (m ³ s.c./ha)
T1	2,3 ^b	5,8 ^a	10,0 ^a	9,1 ^a	17,1 ^a
T2	1,5 ^d	3,9 ^b	7,4 ^b	6,9 ^b	6,9 ^b
T3	1,8 ^c	4,1 ^b	7,9 ^b	7,0 ^b	8,0 ^b
T4	2,6 ^a	5,8 ^a	9,9 ^a	8,9 ^a	16,7 ^a

Tabla 7. Resultados del ensayo de preparación de suelos arenosos en el SO de España. (Fuente: RUIZ et al., 2001)

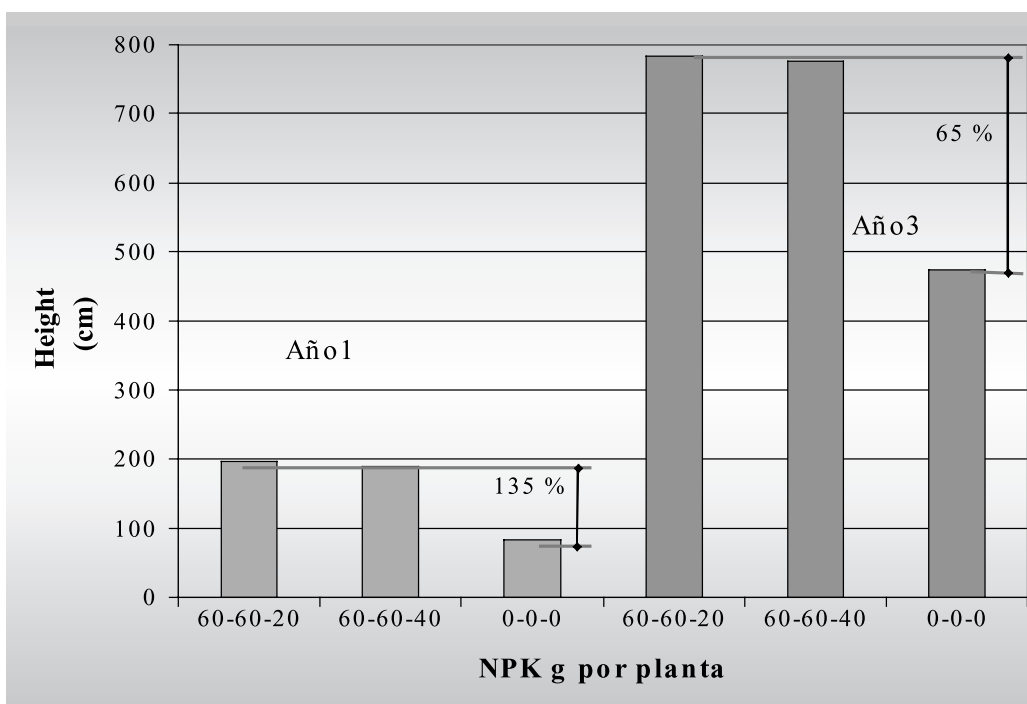


Figura 22. ENSAYO A GRANXA: Galicia. Incremento en % de crecimiento en altura de un clon de *E. globulus* con la mejor dosis comparada con el control. Edad 1 y 3 años. (Fuente: BASURCO et al., 2001)

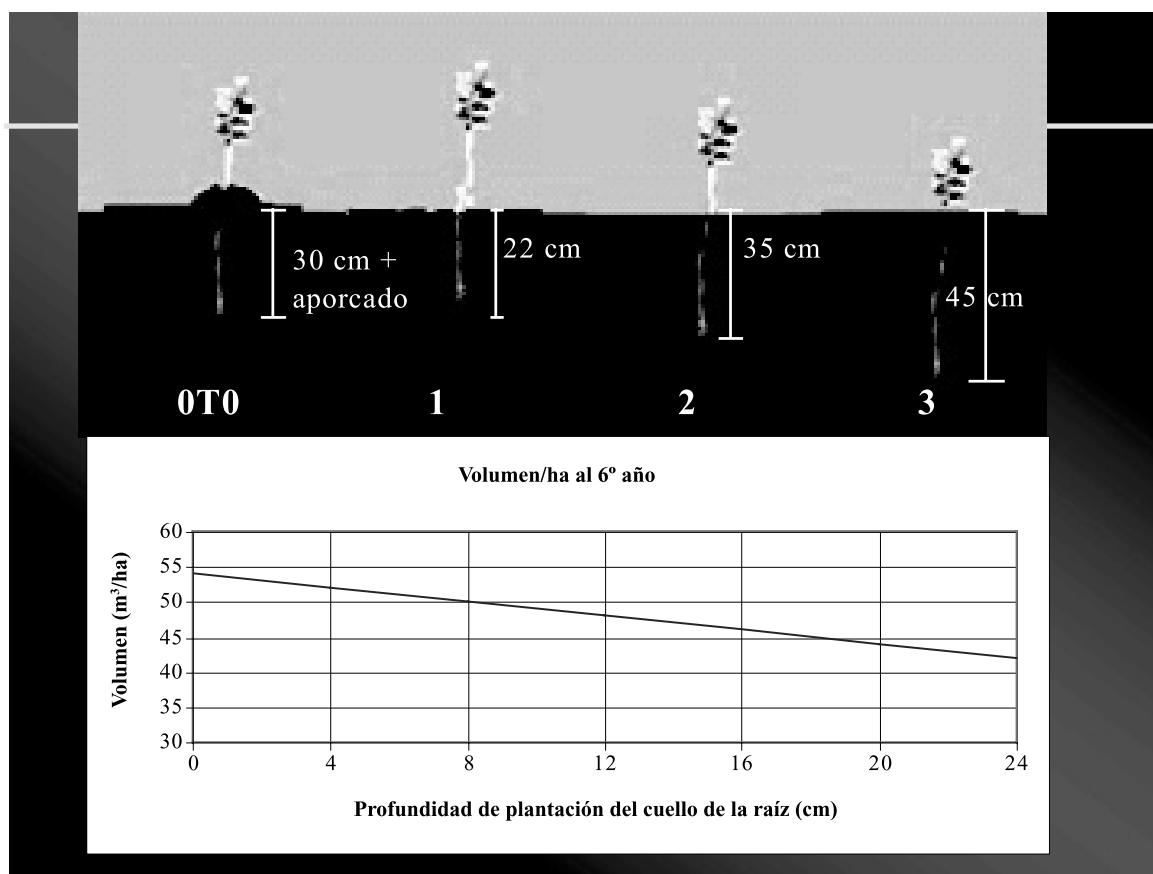


Figura 23. Ensayos de profundidad de plantación. (Fuente: RUIZ et al., 2004)

Los tratamientos preventivos frente a los ataques de *Phoracantha* en las masas del suroeste peninsular han mostrado su efectividad, resultan indispensables para mantener un elevado vigor de la masa aquellos que contribuyen a disminuir la caída del potencial hídrico de la planta, acompañado de la eliminación periódica de los árboles muertos, condición que otorga a los árboles la facultad de no ser elegidos por las hembras del insecto como hospederos para su progenie (FERNÁNDEZ et al., 2004). Puesto que los adultos sólo localizan sus puestas sobre la corteza de árboles debilitados o sometidos a fuerte estrés, condición que cumplen los pies recién cortados, es muy recomendable el descortezado inmediato de la madera apeada como medida preventiva de control de la población.

A estas medidas se suma, desde hace pocos años, las posibilidades del control biológico de la plaga a través de su parasitoide específico oófago *Avetianella longoi* Sis. (*Hymenoptera: Encyrtidae*), una avispa de origen australiano. A partir de su descubrimiento se han llevado a cabo numerosos trabajos en distintas partes del mundo (HANKS et al., 1995; KRISTEN Y TRIBE, 1995; MANSILLA et al., 1999; SERRAO et al., 1995) certificando su elevado potencial como controlador de la plaga. El desarrollo de la técnica para su producción masiva permite la introducción y expansión a través de sueltas masivas en localizaciones donde aún no se encuentra presente o necesita ser reforzada. En la provincia de Huelva se vienen realizando trabajos de dispersión y refuerzo anual de las poblaciones de *A. longoi* desde 1999. El seguimiento periódico de las tasas de parasitismo registradas en esta región muestra niveles de control de hasta el 85% durante la estación de mayor virulencia de la plaga (BORRAJO et al., 2006; RUIZ, 2003).

Asimismo para aquellas plantaciones con ataques de *Gonipterus scutellatus* Gyll. (*Coleoptera: Curculionidae*), localizadas principalmente en el Norte peninsular, el control biológico realizado por *Anaphes nitens* Hub. (*Hymenoptera: Mymaridae*) se muestra muy efectivo (MANSILLA, 1995).

OPERATIVA DEL PLAN DE MEJORA

La finalidad del Plan de Mejora es la obtención de materiales de reproducción y de técnicas

selvícolas que mejoren de forma continua la producción y calidad de las masas forestales, el incremento de sus beneficios medioambientales, la de los cultivos energéticos leñosos y la conservación y expansión ex situ de genotipos forestales de interés.

Dado el carácter estratégico del Plan de Mejora las actividades deberán ser permanentes y continuas para alcanzar las metas propuestas año tras año, por lo que la consecución de la información de forma ordenada en el tiempo es crucial para los avances en todos los ámbitos.

Como hemos dicho, el Plan de Mejora se llevará a cabo a través de dos Programas, el Programa de Mejora Genética y el Programa de Mejora Selvícola, los cuales, a su vez, se articularán en Proyectos con objetivos, presupuesto, medios y plazos de ejecución determinados.

El Plan de Mejora se aplicará a las especies de mayor interés y a las superficies públicas y privadas que estén ligadas al Plan formalmente por acuerdos, contratos o convenios.

Programa de Mejora Genética

El objetivo es mejorar de forma continua los materiales de reproducción, expresada dicha mejora como una cada vez más adecuada adaptación a los factores limitantes de cada una de las Zonas de Mejora definidas, una mayor producción y una mejor calidad de los productos obtenidos. Para la conservación de especies o endemismos amenazados el objetivo prioritario será su reproducción y caracterización genética.

El Programa de Mejora Genética se desarrollará en dos fases principales, la primera de ellas dedicada a conocer la variabilidad genética mediante el ensayo de especies, procedencias, familias y clones, así como en llegar a saber dónde residen, dentro de esa variabilidad, los caracteres de interés para alcanzar la mejor calidad de la madera, la mayor densidad energética posible por unidad de superficie de cultivo, la adaptación, la conservación genética y la mejora de sus efectos ambientales.

En esta 1ª Fase se obtendrán las **Poblaciones Bases** de las especies de interés, la cual será aquella en la que nos apoyemos para obtener los individuos superiores. En nuestro caso estará formada por el ensayo de especies, procedencias, familias y clones, así como por los bancos

de reserva genética establecidos al inicio del Proyecto. Si se estimara necesario se puede incrementar con nuevas colecciones de la especie ya que uno de sus principales fines es la conservación de la diversidad genética de las especies del Plan.

Las líneas que deben desarrollarse son:

- Conocimiento de la variabilidad genética de las especies del Proyecto, mediante ensayos de especies, procedencias, familias y clones, perfectamente identificados. Dichos ensayos deberán repetirse en cada una de las Zonas de Mejora.
- Dicho conocimiento debe contemplar todos los caracteres de interés, es decir, adaptación, crecimiento, calidad de sus productos, resistencia a plagas y enfermedades, etc.
- Si las especies en cuestión son susceptibles de ser reproducidas vegetativamente, deberá llevarse a cabo una selección fenotípica de los individuos superiores de las masas locales. Dicha superioridad debería establecerse en función de varios rasgos de interés (adaptación al medio, ausencia de enfermedades o ataques de insectos, crecimiento, forma, densidad básica, etc.) y en comparación con individuos vecinos.
- Mejora de las técnicas de reproducción, incluyendo técnicas de reproducción *in vitro*, tales como organogénesis y embriogénesis somática.
- Establecimiento de rodales semilleros y bancos clonales que produzcan los materiales de reproducción para el proyecto.
- Si la reproducción vegetativa es posible, hay que enfocar toda la mejora hacia la vía clonal, mediante cruces controlados entre progenitores de reconocido valor de mejora para la obtención de nuevos clones que, una vez testados en las diferentes Zonas de Mejora, se incorporen a la producción.

Sobre la base del conocimiento adquirido en la primera fase se desarrollará la segunda, dedicada a un número reducido de especies seleccionadas, se identificarán Grupos de Caracteres de Mejora formados por individuos selectos, que se cruzarán entre ellos para progresar en la mejora de forma continua hasta alcanzar individuos con valores de mejora que sean insuperables, bien por sí mismos o porque el coste

económico no justifique conseguir nuevos individuos que lo superen.

En esta segunda fase se conformarán las siguientes Poblaciones de Mejora:

Población Principal de Mejora, formada por al menos 50 y como máximo 100 individuos superiores lo más equidistantes entre sí genéticamente hablando, es decir, que si hablamos de una especie, dichos individuos deberán estar seleccionados dentro del mayor número de procedencias posibles para poder restringir que, como mucho, tres de ellos pertenezcan a la misma familia, ya que esta población tendrá como objetivo avanzar en la mejora pero conservando siempre la mayor diversidad genética posible, ya que debe ser adonde acudamos para obtener individuos para la Población Élite y componer los Grupos de Caracteres de Mejoras actuales y futuros. En los casos en que sea necesario será conveniente dividir esta Población en subpoblaciones de procedencias geográficas.

Población Élite, formada por Grupos de Caracteres de Mejora que nos permita prospectar en los efectos de heterosis y en la obtención de clones que engloben dos o más caracteres de mejora como la mejor forma para proyectar los logros que se consigan en las plantaciones comerciales.

Los **Grupos de Caracteres de Mejora**, estarán definidos por el carácter a mejorar y por el nivel de mejora que se quiera alcanzar dentro de ese carácter, nivel que puede ser absoluto, si se conoce y es generalizable a todos los ambientes, o relativo, si no se conoce o no es generalizable a todos los ambientes. La relatividad podrá ser expresada respecto a un clon o procedencia de uso común o al valor absoluto que el carácter puede alcanzar en un ambiente determinado. Los árboles que se incluyan en dichos Grupos deberán ser lo menos afines posibles, genéticamente hablando, para permitir, mediante cruces controlados y en su caso, dirigidos por marcadores moleculares, alcanzar y superar los niveles de mejora propuestos.

Una vez alcanzado por todos los árboles incluidos en un Grupo determinado el nivel asignado al carácter, se considerará que se ha llegado al nivel máximo alcanzable por la especie y se dará por concluida la mejora del carácter en cuestión. Los árboles a incluir en dichos

Grupos pueden proceder de cualquier área geográfica y de cualquier procedencia, siempre de acuerdo a sus valores de mejora. Además, es posible incluir en un Grupo un individuo seleccionado fenotípicamente ya que su valor de mejora será evaluado posteriormente mediante los cruces controlados que se realicen dentro de la Población Élite. Es evidente que todos los cruzamientos que se efectúen deberán estar apropiadamente diseñados para poder obtener, al menos, la información más precisa de los valores genéticos del material puesto en juego.

Al tiempo se realizarán cruces dirigidos entre individuos de diferentes Grupos para producir clones comerciales superiores en al menos dos caracteres con lo que tendremos otra vía para evaluar los parámetros genéticos. Dichos cruces serán dirigidos, llegado el caso, por marcadores moleculares.

Los cruces entre individuos de Grupos diferentes permitirán avanzar en la mejora de varios caracteres a la vez, sin que para ello sea necesario esperar a alcanzar el nivel de mejora de referencia de los Grupos, entendiéndose que el nivel que se tenga en un momento dado es el nivel máximo de mejora del Programa para un carácter determinado.

Siempre que se pueda se deberán probar y evaluar materiales similares en diferentes ambientes, para proporcionar mayor consistencia a la evaluación de los parámetros genéticos.

Población de Propagación, la que suministra planta para las plantaciones, es decir, la planta del vivero en un momento dado del Plan.

Población de Producción, son las plantaciones creadas y que están presentes en un momento dado del Plan. Como se puede comprender su composición genética irá cambiando a la largo del tiempo.

Programa de Mejora Selvícola

El objetivo es desarrollar, desde el conocimiento de los factores limitantes, técnicas selvícolas que mejoren la adaptación de las plantas, aumenten la producción y mejoren la calidad de sus productos.

Las líneas de desarrollo son:

- A través del conocimiento de los factores limitantes y de las debilidades del manejo de las plantaciones, definir Zonas de Mejora en

función del tipo de suelo, características climáticas, posición topográfica, vegetación preexistente, uso anterior del suelo, etc., etc. Dichas Zonas deberán ser homogéneas internamente y diferentes entre sí, sobre las cuales se ensayarán los diferentes materiales genéticos y técnicas selvícolas para poder definir materiales de reproducción y tratamientos específicos para cada una de ellas. Las Zonas de Mejora son diferentes si producen diferencias cualitativas en algún factor y no lo serán si las diferencias son cuantitativas. Es decir, la definición de los límites de dichas Zonas de Mejora será un proceso interactivo entre las características del medio y la respuesta de los ensayos que se establezcan

- Mejora de la producción en vivero, no sólo en cuanto a lo que se refiere a la calidad fisio-morfológica de las plantas sino también para abaratar costos de producción
 - Preparación del suelo: esta línea debe contemplar diferentes métodos de preparación del suelo (p.ej., subsolado simple, subsolado cruzado, arado, ahoyado, etc.) y su efecto sobre la supervivencia y crecimiento de la planta, estabilidad ante el viento, aspectos sanitarios, etc., ensayados en las diferentes Zonas de Mejora
 - Densidad de plantación, tanto para reforestaciones como para cultivos energéticos
 - Balance nutricional: mediante ensayos factoriales con macronutrientes (NPK) a lo largo del turno con incorporación de micronutrientes si se detectara alguna deficiencia
 - Control de maleza: previa a la plantación y especialmente durante el primer año
 - Protección de las plantaciones (prevención de incendios, control de plagas y enfermedades, etc.)
 - Mecanización de todas las operaciones
 - Técnicas de aprovechamientos madereros y de cosecha de cultivos energéticos
 - Influencia de los diferentes tratamientos en la calidad de los productos
 - Redacción periódica de Normas Selvícolas que definan las mejores prácticas a realizar a la luz de los conocimientos adquiridos
- Debe tenerse en cuenta la necesidad de disponer de un material de propagación adecuado,

siendo incluso recomendable no empezar las actividades de mejoras selvícolas hasta que no se disponga de un material genético seleccionado y de la mayor uniformidad posible, preferiblemente clonal, ya que la experiencia nos enseña que cuando existe una alta variabilidad genética, es lo suficientemente importante como para no dejar mostrar nítidamente los efectos de los tratamientos selvícolas.

Todo ello para conseguir plantaciones de alta productividad, teniendo en cuenta que los incrementos de producción se obtienen más fácil y rápidamente con la mejora selvícola que con la genética, aunque como hemos dicho esta última es la condición sin la cual no se puede obtener la primera.

La aplicación de los avances selvícolas estará condicionada por los factores económicos, es decir, serán aplicados donde los costos de las nuevas operaciones estén justificados por los retornos que se obtengan.

BIBLIOGRAFÍA

- ALIA MIRANDA, R.; MORO SERRANO, J. Y DENIS, J.B.; 2001. Ensayos de procedencias de *Pinus pinaster* en el centro de España: resultados a la edad de 32 años. *Inv. Agrar.: Sist. Rec. For.* 10(2): 333-354
- BALLESTEROS PERDICES, M.; 2008. *Nuevas fuentes de suministro y su transformación a biomasa doméstica*. Genera 2008. Madrid.
- BASURCO, F.; NORIEGA, M.; ROMERAL, L. Y TOVAL, G.; 2001. Ensayos de fertilización localizada en masas clonales de *Eucalyptus globulus* en el momento de la plantación en la provincia de La Coruña. *En: S.E.C.F.-Junta de Andalucía (eds.), III Congreso Forestal Español. Montes para la Sociedad del Nuevo Milenio II: 671-675*. Gráficas Coria. Sevilla.
- BORRAJO, P.; MANTECAS, C. Y RUIZ, F.; 2006. Seguimiento del control biológico de *Avetianella longoi* Sisc. sobre *Phoracantha semipunctata* Fab. en la provincia de Huelva, España entre los años 2002 y 2005. *En: Actas del II Simposio Iberoamericano de Eucalyptus globulus*. Universidad de Vigo. Vigo
- BRAÑAS, J.; GONZALEZ-RIO, F. Y MERINO, A.; 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la Península Ibérica. *Inv. Agrar.: Sist. Rec. For.* 9 (2): 317-335
- BURNS, R.M. & HONKALA, B.H.; 1990. *Silvics of North America*. Vol. 2 *Harwoods*. Agriculture Handbook 654. Forest Service. USDA Washington, DC.
- CAÑAS, I.; SORIA, F.; TOVAL, G.; ASTORGA, R. & LÓPEZ, G.; 2004. *Genetic parameters for rooting trait in Eucalyptus globulus (Labill.)*. *Eucalyptus in a changing world*. Proc. IUFRO Conf. Aveiro.
- CHMURA, D.J.; 2000. Analysis of results from a 59 years old provenance experiment with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Lubien, Poland. *Dendrobiology* 45: 23-29.
- CLAUDIO-DA-SILVA, E. JR.; DEMUNER, B. & REZENDE, G.; 2005. *Aracruz Celulosa S.A. Creating improved product quality through understanding of fiber genetics and environmental impacts*. 8th Pira International Conference. Fiber Engineering, The Impact Forum. Barcelona.
- COTTERILL, P. & MACRAE, S.; 1997. Improving *Eucalyptus* pulp and paper quality using genetic selection and good organization. *Tappi Journal* 80(6): 82-89.
- DANIEL, T.W.; HELMS, J.A. & BAKER, F.S.; 1982. *Principios de Silvicultura*. McGraw-Hill México
- DEAN, G.H.; 1995. *Objectives for Wood Fibre Quality and Uniformity*. CRCTHF-IUFRO Conference *Eucalypt Plantations: Improving, Fibre Yield and Quality*. Hobart, Australia.
- DOWNES, C.M.; HUDSON, I.L.; RAYMOND, C.A.; DEAN, G.H.; MICHELL, A.J.; SCHIMLECK, L.R.; EVANS, R., & MUNERI, A.; 1997. *Sampling Plantation Eucalypts for wood and fibre properties*. CSIRO Australia.
- ELENA ROSSELLÓ, M.; 2006. El corcho en la encrucijada: la pérdida del monopolio. *Boletín económico de ICE* 2889. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.
- FERNÁNDEZ, M.; ARIAS, M.T.; PARDOS, J.A.; RUIZ, F. & SORIA, F.; 2004. *The Eucalyptus globulus clone resistance to Phoracantha semipunctata depends on its response to*

- water stress*. Proceedings 10th MEDECOS Conference. Rhodes.
- FISHER, R.A.; 1949. *Métodos estadísticos para investigadores*. Ed. Aguilar. Madrid
- GREAVES, B.L. & BORRALHO, N.M.G.; 1996. The influence of basic density and pulp yield on the cost of eucalypt kraft pulping: a theoretical model for tree breeding. *Appita* 49(2): 90-95.
- HANKS, L.; GOUL, J.; PAINE, T.; MILLAR, J. & WANG, Q.; 1995. Biology and host relations of *Avetianella longoi* (Hymenoptera: Encyrtidae) an egg parasitoid of the eucalyptus longhorned borer (Coleoptera: Cerambycidae). *Annals Entomol. Soc. America* 88(5): 666-671.
- INE. www.ine.es
- KOLLMANN, F.; 1959. *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Tomo primero. Mto. de Agricultura. Madrid.
- KRISTEN, F. & TRIBE, G.; 1995. The biological control of *Phoracantha semipunctata* and *Phoracantha recurva* (Coleoptera: Cerambycidae) in South Africa. In: *IUFRO XX World Congress*. Poster 156. Tampere 1995. Finland.
- MANSILLA, J.P.; 1995. Revisión 1994 del área de dispersión de *Gonipterus scutellatus* Gyll. (Col. Curculionidae) en Galicia. *Bol. Sanidad Veg. Plagas* 21: 277-280.
- MANSILLA, J.P.; PEREZ, R.; RUIZ, F. Y SALINERO, C.; 1999. *Avetianella longoi* Siscaro, parásito de huevos de *Phoracantha semipunctata* F.: Primera cita de su presencia en España y bases para la puesta en práctica del control biológico del xilófago. *Bol. Sanidad Veg. Plagas* 25: 515-522.
- MMA; 1999. *Estrategia Forestal Española*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid
- MARM; 2006. *Anuario de Estadística Forestal 2006*. Banco de Datos de la Biodiversidad. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- MOLINA RODRÍGUEZ, F.; 1965. Comportamiento racial de *Pinus pinaster* en el Noroeste de España. *Anales I.F.I.E.* 37(10): 221-238
- NEYMAN, J.; 1949. *Proceedings of the Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*. University of California press. Berkeley and Los Angeles.
- ODUM, E.P.; 1972. *Ecología*. 3ª Edición. Ed. Interamericana. México.
- OLLER, J.; CELESTINO, C.; LOPEZ-VELA, D.; ALEGRE, J.; TOVAL, G. & TORIBIO, M.; 2006. Repetitive induction of somatic embryogenesis in mature zygotic embryos of *Eucalyptus globulus* Labill. En: *2º Simposio Iberoamericano de Eucalyptus globulus*. Pontevedra.
- PADRÓ SIMARRO, A.; 1992. *Clones de chopo para el valle medio del Ebro*. Dip. Gral. Aragón. SIA. Unidad de Recursos Forestales. Zaragoza.
- PARDOS CARRION, J.A.; 1998. *La selvicultura clonal*. Mejora genética de especies arbóreas forestales. FUCOVASA. Madrid.
- PICCHI, G.; 2007. *Cultivos energéticos leñosos (SRC)*. Jornadas sobre el aprovechamiento energético de biomasa leñosa en Cataluña. Barcelona
- RAMOS FIGUERAS, J.L.; 1979. *Selvicultura*. Sección de Publicaciones. E. T. S. de Ingenieros de Montes. Madrid.
- REMACHA GETE, A.; 2008. *Tecnología del corcho*. AMV Ediciones. Madrid.
- RUIZ, F.; SORIA, F. Y TOVAL, G.; 2001. Ensayos de preparación del terreno para el establecimiento de masas clonales de *Eucalyptus globulus* (Labill.) en distintos suelos de la provincia de Huelva. In: *IUFRO Conference. The Eucalypts of the future*. CD-Rom. Valdivia.
- RUIZ, F.; 2003. El control biológico de plagas en masas de *Eucalyptus globulus*. In: *Proceedings I Simposio Iberoamericano de Eucalyptus globulus*. CD-Rom. Montevideo.
- RUIZ, F.; LÓPEZ, G. & TOVAL, G.; 2004. Deep-planting influence on the development and growth of *Eucalyptus globulus* Labill. Clonal cuttings. In: N.M.G. Borralho, J.S. Pereira, C. Marques, J. Coutinho, M. Madeira & M. Tomé (eds.), *Proceedings of the International IUFRO Conference of the WP2.08.03 on Silviculture and Improvement of Eucalyptus*: 263-267. Aveiro. Portugal.
- SÁNCHEZ ROCHA, J.; BABÍO BESCANSÀ, A. Y FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, M.E.; 2008. *La industria del aserrado en Galicia*. Universidad de Santiago de Compostela.

- SERRAO, M.; BONIFACIO, L. & CAMPOS, J.; 1995. Production of cerambycid eggs for mass rearing of parasitoids. In: *VIII OILB Workshop on Quality Control of Mass Reared Arthropods*. Sta. Barbara, California.
- SORIA, F. & BORRALHO, N.M.G.; 1997. The genetics of resistance to *Phoracantha semipunctata* attack in *Eucalyptus globulus* in Spain. *Silvae Genetica* 46(6):365-369.
- SWEET, G.B. & THULIN, I.J.; 1962. Provenance of *Pinus pinaster* Ait., a five year progress report on a trial at Woodhill, New Zealand. *N.Z.J. For.* 8: 570-586.
- TORIBIO, M. Y CELESTINO, C.; 2000. El uso de la biotecnología en la conservación de recursos genéticos forestales. *Inv. Agrar.; Sist. Rec. For.*, Fuera de serie 2. INIA. Madrid.
- TORIBIO, M.; FERNÁNDEZ, C.; CELESTINO, C.; MARTÍNEZ, M.T.; SAN-JOSÉ, M.C. & VIEITEZ, A.M.; 2004. Somatic embryogenesis in mature *Quercus robur* trees. *Plant Cell Tissue Org. Cult.* 76: 283-287.
- TOVAL, G. Y PUERTO, G.; 1982. *Enraizamiento de esquejes de Sequioa sempervirens*. Lourizán. España.
- TOVAL, G. Y VEGA, G.; 1982. *Metodología para la cuantificación y clasificación del clima. Primera aproximación de su aplicación en Galicia (España)*. Reunión Técnica Internacional Principios de Introducción de Especies INIA/IUFRO. Lourizán. España.
- TOVAL, G. 1984. *Primeros resultados de características y comportamiento de clones de castaños híbridos resistentes*. Congreso sobre el castaño. Lourizán. Pontevedra.
- TOVAL HERNÁNDEZ, G.; 1992. *Las enseñanzas forestales y el sector forestal en Galicia*. Universidad de Vigo. E.U. de Ingeniería Técnica de Industrias Forestales. Pontevedra.
- TOVAL, G.; VEGA, G.; PUERTO, G. & JENKINSON, J.L.; 1993. *Screening Douglas-fir for rapid early growth in common-garden tests in Spain*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-146. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Albany, CA
- TOVAL, G.; 2002. Calidad de la Madera de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* como materia prima para la industria pastero-papelera. En: *I Simposio Iberoamericano de E. globulus* Montevideo.
- TOVAL, G.; 2007. La mejora forestal a la luz de la mejora de *Eucalyptus globulus*. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 24: 113-122
- VEGA, P.; VEGA, G.; GONZALEZ ROSALES, M. Y TORRES VILA, A.M.; 1991. Plan de Mejora Genética Forestal para Galicia. *Rev. AITIM* 150 extra: 90-94.
- VEGA ALONSO, G.; GONZÁLEZ ROSALES, M.; VEGA ALONSO, P. Y RODRÍGUEZ SAN JOSÉ, A.; 1993. Mejora genética de *Betula celtiberica* en Galicia. En: F.J. Silva-Pando y G. Vega Alonso (eds.), *Actas del Congreso Forestal Español-Lourizán 93*, II: 135-140. Grapol. Vigo.
- WRIGTH, J.W. & BALDWIN, H.I.; 1957. *Report on an 18 year old scotch pine provenance test in New Hampshire*. Northeastern Forest Experiment Station, Forest Service, U. S. Dept. Agriculture.