Madera de pino radiata: conclusiones de 25 años de trabajos

Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco*
Marta Conde García
Eva Hermoso Prieto

*Centro de Investigación Forestal del INIA (CIFOR-INIA)
Carretera de A Coruña Km 7,2
28040 Madrid
golfin@inia.es

Introducción

Se estima que en la actualidad el pino radiata (*Pinus insignis* D.Don) ocupa una superficie total de 246.000 Has, de ellas 137.000 has en el País Vasco, 89.000 has en Galicia y unas 20.000 has en Asturias.

Con respecto a las cortas anuales de madera en rollo y aún cuando su determinación exacta resulta bastante dificultosa, se estima que ronda los dos millones y medio de metros cúbicos, 1,5 Mm^3 en el País Vasco, 0,85 Mm^3 en Galicia y 0,18 Mm^3 en Asturias.

La madera de pino radiata es destinada a la obtención de apeas (fundamentalmente destinadas a la industria celulósico-papelera), chapas de desenrollo (tableros contrachapados) y madera aserrada. Aún cuando su cuantificación exacta resulta casi imposible, la producción anual de madera aserrada viene a representar en el País Vasco 500.000 m^3, unos 280.000 m^3 en Galicia y unos 60.000 m^3 en Asturias; sumando en su conjunto 840.000 m^3.

La madera aserrada de pino radiata está presente en los mercados de fabricación de elementos de embalaje, decorativos y de mobiliario así como en el mercado de la madera estructural. Gran parte de la producción de madera aserrada de la especie se comercializa actualmente seca, pasada por secadero.

Las aplicaciones estructurales de esta madera, como las del resto de maderas de coníferas, están ganando cuota de mercado en nuestro país. La reciente aprobación del Código Técnico de la Edificación ha supuesto un importante revulsivo, lo que en el mercado se detecta como un creciente interés por la madera y sus productos derivados (maderas laminada y microlaminadas, Duo y trio-lams, tableros contralaminados, etc.) como materiales estructurales.

Es necesario poner de manifiesto que, al igual que ocurre con los restantes productos de la construcción, la madera y sus derivados con destino al mercado estructural deben estar perfectamente caracterizados tanto en sus propiedades como en su comportamiento en obra. A este respecto hay que decir que la madera aserrada de pino radiata fue la primera estudiada de forma sistematica y la más veces analizada a lo largo del tiempo.

En este sentido es necesario apuntar que entre 1985 y 1988 se llevó a cabo, mediante Convenio de colaboración suscrito entre el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y el Centro Técnico de la Madera del país Vasco (ZTB), el primero de los procesos de caracterización. Este primer trabajo fue completísimo implicando no sólo la caracterización físico-mecánica de la madera (haciendo uso tanto de probetas de pequeño tamaño como de tamaño estructural) sino también la tecnológica (aptitud al secado y al desenrollo), la anatómica, la biológica (determinación de la durabilidad

natural y de la aptitud al tratamiento protector) y hasta la determinación de su reacción y resistencia al fuego así como del aprovechamiento energético de sus resíduos.

Pero cuando se efectuó el estudio sobre la Tecnología y aprovechamiento de la madera de pino radiata del País Vasco (Convenio INIA-ZTB), publicado en 1990, el proceso normalizador sobre la madera aserrada de uso estructural era muy incipiente, motivo por lo actual los resultados obtenidos en aquél momento no se ajustaban perfectamente a los posteriores desarrollos de la norma de clasificación visual por resistencia (UNE 56.544) y a las exigencias que parecía plantear el mercado. Por este motivo se sugirió la conveniencia de efectuar un segundo estudio que tomara como base de muestreo no ya el árbol en pie, como se hizo en el primero, sino la madera puesta en mercado. Este segundo trabajo se llevó a cabo en los años 1995-1996, de nuevo por acuerdo suscrito entre el INIA y el ZTB. En este estudio se incorporó tanto madera aserrada en el propio País Vasco como en los aserraderos de Soria y Burgos, que a la sazón aserraban grandes cantidades de esta madera.

Los resultados de este segundo trabajo permitieron modificar la norma de clasificación visual por resistencia (UNE 56.544), incorporando en ella diversos aspectos que permitían una mejora en la clasificación de esta madera.

La tercera de las caracterizaciones se llevó a cabo mediante contrato suscrito en abril de 2003 entre la Mesa Intersectorial de la Madera del País Vasco y el INIA, teniendo como principal objetivo el desarrollo de un sistema automatizado de clasificación estructural, basado en el empleo de máquinas tanto de tipo mecánico como de ultrasonidos (varias familias). Posteriormente se solicitó una ayuda complementaria al Plan Nacional de I+D+i, que finalmente fue concedida (Proyecto AGL2004-01598FOR) y que ha finalizado recientemente (2007).

Hasta el momento se han ensayado en los laboratorios del INIA un total de 1874 vigas (631 en el primer estudio, 320 en el segundo y 923 en el tercero) de 2,5; 3,5 y 4,5 m de longitud y de secciones variables (9 en total).

Desde el primero de los estudios ya se puso de manifiesto que aunque esta madera posee anillos de crecimiento muy anchos, sus propiedades, sin embargo, no se encuentran penalizadas por ello; de forma y manera que aunque no es la madera de conífera de mayor resistencia (lo es el pino laricio nacional) sin embargo sí presenta propiedades mecánicas muy adecuadas para la aplicación estructural.

Otras interesantes cualidades de esta madera hacen referencia a su extraordinaria permeabilidad (absorbe muy bien los tratamientos químicos de protección y acabado) y a su fácil transformación (aserrado, desenrollo, secado, astillado y desfibrado). Esto justifica por sí solo que esta madera haya sido fuertemente demandada por el sector del mueble para su línea rústica basada en el empleo de maderas macizas de pino.

El objetivo del presente artículo es el de informar de los principales resultados obtenidos con la ejecución de los diversos proyectos de investigación que se han llevado a cabo sobre este material. Para mejor comprensión se aborda la presentación de los resultados agrupados por temas.

Propiedades dendrológicas y sus efectos tecnológicos y cualitativos

Como ocurre con el resto de las coníferas, aproximadamente el 90% del volumen total de la madera está constituido por un mismo elemento anatómico: las traqueidas longitudinales. Se trata de células alargadas, que en esta especie adoptan una

longitud media de 3,5 mm, si bien esta longitud es algo inferior en la zona central del tronco (cercana a la médula) y algo superior en la zona exterior, cercana al cambium.

En las condiciones habituales de cultivo (turnos en el entorno de los 30-40 años) el porcentaje de duramen es bastante reducido (10-15%), de ahí que al pino radiata se le suela considerar un "**árbol de albura**". Esto tiene efectos claros sobre su durabilidad natural (la albura es menos durable que el duramen), su susceptibilidad al azulado (que es mayor) y su permeabilidad a los líquidos y facilidad al tratamiento y acabado (que es muy alta).

Otro interesante hecho radica en la relativa **homogenidad del perfil de densidad dentro del anillo de crecimiento**. De acuerdo con esto, dado que la diferencia de densidades entre la madera de verano y la de primavera, dentro ambas del anillo anual de crecimiento, es muy reducida (cociente de densidades de 1,57), es posible forzar el crecimiento sin claro un menoscabo de la densidad y de las propiedades resistentes de la madera. Para que sirva de comparación se puede informar que en el abeto el cociente antes mencionado toma el valor de 2,31 y en la picea de 1,73. De lo anteriormente apuntado se deduce la causa por la cual en el Centro de Europa (donde básicamente están presentes el abeto y la pícea con heterogenidades más acusadas entre las densidades de la madera de primavera y de verano) se conceda al anillo de crecimiento un importante papel como indicador de la calidad mecánica de la madera.

Aún cuando varía mucho con la posición dentro del árbol (disminuye con la altura y la distancia a la médula) la anchura del anillo de crecimiento toma un valor medio de 6,5 mm aunque no son infrecuentes valores de 8-9 mm.

El pino radiata suele presentar fustes rectos, dotados de reducidas excentricidad, conicidad y elipticidad; lo que por sí solo supone una ventaja estratégica a la hora del aserrado ya que como además (salvo la madera de corazón) suele presentar **fibra recta** el rendimiento de aserrado suele ser algo mayor que con el resto de coníferas nacionales.

El **carácter verticilado de la especie** y la forma habitual de aserrado (normalmente de alta producción, o en cachones, generando gran cantidad de cortes paralelos) hace que sea frecuente la presencia de nudos en espiga y en bigote, que penalizan fuertemente al material, sobre todo en sus aplicaciones estructurales. Para mejorar la calidad de la madera aserrada sería, pues, conveniente pasar a un aserrado más tradicional pero también con menor rendimiento.

Otra razón adicional para llevar a cabo un tipo de aserrado más cualitativo se basa en la necesidad de eliminar la madera de "corazón", toda vez que esta especie suele generar en la zona central (10 primeros anillos) lo que se denomina **madera juvenil**, madera de menor densidad que la normal y dotada con una mayor inclinación de la fibra, propensa, pues, a presentar menores resistencias y mayores tendencias al alabeo y a la deformación durante su secado.

Otro aspecto importante, tanto para el cálculo de los rendimientos en madera aserrada como para el de producción de corteza para biomasa u otras aplicaciones, es el del **porcentaje de corteza**. Este dato varía mucho con la altura considerada dentro del tronco así como con el diámetro del mismo. Para la madera de sierra, en la primera troza el porcentaje medio es del 25% mientras que para el resto de trozas, e incluso para la madera delgada, el valor medio se sitúa en el 15%.

Aún cuando estrictamente no es una variable dendrológica sí cabe aquí decir que la madera de pino radiata posee un muy **bajo contenido en resina y extractivos**. En la

albura de esta especie (90% del volumen de la madera) el porcentaje de extractivos apenas si llega al 2%, el cual es un valor muy reducido, justificando la ausencia de problemas de encolado en esta especie.

Propiedades físicas y sus efectos tecnológicos y cualitativos

De los estudios llevados a cabo, tanto en el INIA como a nivel internacional, se deduce con claridad que en lo que hace referencia a sus propiedades físicas, la madera de pino radiata presenta unos valores medios dentro de la familia de las coníferas a la que pertenece.

Se trata de una madera altamente permeable (tanto a los líquidos como al vapor de agua), que seca rápidamente por cualquier sistema (tradicional a temperatura alta, radiofrencuencia, vacío, alta temperatura, etc.), que encola con facilidad, que admite fácilmente los acabados (tintes, lasures y barnices) así como los tratamientos químicos preventivos; aspecto éste último de gran trascendencia en sus usos constructivos y agrarios ya que es técnicamente posible conseguir las máximas penetraciones de producto y conferir a esta madera los más elevados grados posibles de durabilidad frente a todo tipo de agentes degradadores de la madera. Este último hecho diferencia a esta madera frente a otras coníferas europeas, como la picea y el abeto, que sólo consiguen penetraciones muy débiles de producto (3-4 mm), lo que hace que no sean una opción segura para usos constructivos en clases de riesgo 3, 4 y 5. De hecho, esta elevada permeabilidad en la madera de pino radiata obliga a los industriales a efectuar vacíos finales al tratar la madera mediante autoclave ya que el consumo de protector puede ser exagerado (retenciones de producto superiores a las necesarias).

La fácil encolabilidad y tratabilidad de esta madera la hace ideal para aplicaciones constructivas bajo presentaciones laminadas: tales como, madera laminada encolada, tableros de madera maciza, tableros alistonados, tableros contrachapados, LVL, etc.

La densidad al 12% de humedad es del entorno de los 504 kg/m^3, si bien varía con la procedencia de la madera, tanto en altura (disminuye) como en diámetro (aumenta con la distancia a la médula). La densidad en verde se sitúa en los 950 kg/m^3, la anhidra en 470 kg/m^3 y la básica en 410 kg/m^3. Estos valores de la densidad hacen que se pueda considerar a esta madera algo más ligera que la de los restantes pinos españoles (pinaster, silvestre y laricio) pero más pesada que la de otras coníferas europeas, como son el abeto y la picea.

El valor de la densidad al 12% (504 kg/m^3) hace que esta madera sea considerada, como la del resto de los pinos, ligera a semi-pesada y que, por tanto, deba ser tratada superficialmente de forma adecuada en usos donde haya riesgo de indentación (suelos, superficies de trabajo, etc.).

Los valores de su coeficiente de anisotropía (1,8) y de anisotropía absoluta (3,3) hacen que esta madera tenga una tendencia media al atejado, similar a la del resto de los pinos nacionales; si bien la presencia de madera juvenil alrededor de la médula (10-13 primeros anillos) hace que cuando ésta madera está presente en una pieza ésta tenga tendencia al alabeo o al curvado (de cara o de canto), de ahí que sea recomendable emplear con ella sistemas de aserrado que eliminen el corazón.

El valor de su densidad en verde y la gran homogeneidad estructural antes vista hacen que esta madera sea fácilmente desenrollable y, por tanto, una materia prima ideal para la fabricación de tableros contrachapados y LVL, lo que, sin duda, debe abrirle las puertas al mercado de la construcción con madera.

Análogamente y debido a su fácil y seguro encolado, los tableros de madera maciza construidos con esta madera pueden alcanzar las mejores cotas de calidad (SWP3 según UNE-EN 13353:2003), tal y como han demostrado los ensayos llevados a cabo. Igualmente, sería de esperar un resultado similar si con esta madera se conformasen tableros de madera maciza contralaminados.

Propiedades mecánicas y sus efectos sobre sus aplicaciones estructurales

Debido a las infundadas dudas del pasado motivadas por la equivocada creencia de que el tamaño de los anillos de crecimiento tenía un efecto negativo sobre la resistencia, pocas maderas han sido tantas veces estudiadas como la del pino radiata.

Es importante tomar conciencia de que la caracterización mecánica de una madera, especialmente si procede de plantaciones a turno corto, no es algo estático en el tiempo sino que debe ser repetida cada vez que se sospeche de la existencia de cambios en la gestión que pudieran afectar a las propiedades del material (cambios en el turno, en la selvicultura, en la procedencia de la semilla, en el área de distribución, etc.). Esto hace que sea deseable que de forma sistemática cada cierto tiempo se evalúe que las propiedades de la madera se sitúan dentro de lo declarado en norma.

La primera caracterización estructural de esta madera se llevó a cabo en los años 1985-1988 y sirvió para sentar las bases de la que posteriormente sería la primera versión de la norma nacional de clasificación visual resistente, UNE 56.544. Posteriormente, en 1995, se amplió la muestra considerando nuevas procedencias y dimensiones, permitiendo los resultados obtenidos (junto con los de otras maderas como el pino pinaster) publicar una segunda versión (de 1999) de la citada norma. Finalmente, entre 2003 y 2006 se llevó a cabo una última, y mucho más completa, caracterización incluyendo en ella a material de gruesa escuadría (vigas de sección transversal de 200x150 mm y de 250x150 mm). En la tabla 1 figura un resumen de todo el material ensayado hasta el momento.

Tabla 1
Resumen de la muestra ensayada

Estudio	Dimensiones	Piezas ensayadas
1985	150x50x3200 mm 100x40x2100 mm	631
1995	150x50x3500 mm	320
2003	40x100x2500 mm 50x100x2500 mm 40x150x3500 mm 50x150x3500 mm 70x150x3500 mm 50x200x4500 mm 70x200x4500 mm 150x200x4500 mm 150x250x4500 mm	923
Total		1874

Paralelamente a la tercera de las caracterizaciones (la llevada a cabo entre los años 2003 y 2006), se efectuó un estudio sobre la aplicabilidad de diversas técnicas no destructivas (Transmisión de ondas ultrasónicas, Método de resonancia, empleo de máquinas de tipo mecánico, etc.) a la clasificación de esta madera.

Según los resultados obtenidos en los ensayos es posible mantener la siguiente asignación resistente (de acuerdo con las clases de resistencia de la norma UNE-EN 338) para la madera clasificada visualmente según la norma UNE 56.544 (estos

valores están aprobados a nivel europeo, figurando en la norma de referencia EN 1912):

- Madera clasificada como ME-1 (dimensiones máximas de 200x70 mm): C24
- Madera clasificada como ME-2 (dimensiones máximas de 200x70 mm): C18

Para la madera de gruesa escuadría (dimensiones superiores a 200x70 mm) la última versión (de 2007) de la norma española de clasificación visual, UNE 56.544, basándose en los resultados del estudio del 2003, establece la siguiente asignación:

- Madera clasificada como MEG: C16

En la tabla 2 se citan, de acuerdo con la norma UNE-EN 338 (en su version de diciembre d2 007), los valores de las propiedades físico-mecánicas que serían de aplicación para las tres clases de resistencia antes mencionadas: C16, C18 y C24.

Tabla 2
Propiedades físico-mecánicas para diversas clases de resistencia de la norma UNE-EN 338 (versión dic. 2007)

		CLASES DE RESISTENCIA		
		C16	**C18**	**C24**
Propiedades resistentes (N/mm^2)				
Flexión	$f_{m,k}$	16	18	24
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	10	11	14
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	17	18	21
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,2	2,2	2,5
Cortante	$f_{v,k}$	3,2	3,4	4,0
Propiedades elásticas (kN/mm^2)				
M. Elástico paralelo (medio)	$E_{0,mean}$	8	9	11
M. Elástico paralelo (característico)	$E_{0,05}$	5,4	6,0	7,4
M. Elástico perpend (medio)	$E_{90,mean}$	0,27	0,30	0,37
M. Cortante (medio)	G_{mean}	0,5	0,56	0,69
Densidad (kg/m^3)				
Característica	ρ_k	310	320	350
Media	ρ_{mean}	370	380	420

Conclusiones

La madera de pino radiata es un material noble con propiedades físico-mecánicas que la convierten en un material muy apto para aplicaciones tanto decorativas como resistentes.

La facilidad para su secado, mecanizado, encolado, tintado y acabado hacen de ella un material muy apto para los usos de carpintería y mobiliario.

Su facilidad de encolado, su reducido nivel de extractivos junto a sus propiedades mecánicas hacen que la madera de pino radiata (aserrada o en chapa) sea un material muy adecuado para la construccion de grandes estructuras de madera laminada encolada y madera microlaminada (LVL), llamando enormemente la atención las razones por las cuales no es masivamente usada a nivel nacional, sobre todo para elementos destinado a trabajar en clase de servicio 3. En este sentido es necesario resaltar, una vez más, lo inadecuado que resulta emplear madera de abeto para la fabricación de estructuras de madera laminada encolada que vaya a trabajar en clase de servicio 3 (por su bajísima penetración de producto protector), pudiendose emplear en su lugar y con gran éxito la madera de pino radiata, que por su facil tratabilidad en profundidad y encolabilidad la hacen muchísimo más adecuada para dicho uso.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al extinto Centro Técnico de la Madera (ZTB), a la Mesa Intersectorial de la Madera y al Plan Nacional (Proyecto AGL2004-01598FOR) el apoyo económico recibido para llevar a cabo las distintas caracterizaciones efectuadas.