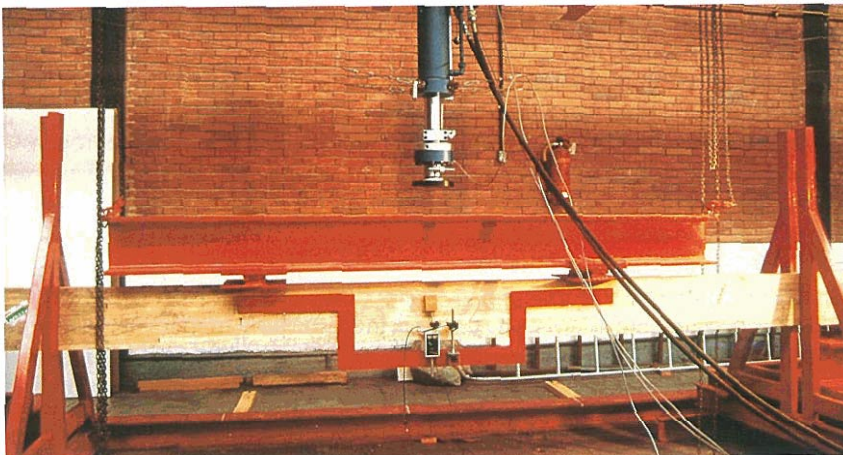


Este Proyecto Europeo finalizó el año pasado, ha durado tres años (1.11.91 - 31.10.94) y se ha desarrollado dentro del Programa FOREST

# Estudio del Eucalipto para su utilización como madera sólida

AITIM ha llevado a cabo su coordinación y en él han intervenido los siguientes institutos. Por Portugal el LNETI (Laboratorio Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial y el UNIMOR (Maderas de Mortagua S.A.). Por Francia el CTBA (Centre Technique du Bois et de L'Amueblement) y el CIRAD-Fôret (Centre de Cooperation Internationale en Recherche pour le Developpement, antiguo CTFT Centre Technique Forestier). Por España la UPM-ETSIM Cátedra de aprovechamientos forestales, el CIFOR-INIA (Centro de Investigación Forestal - Instituto de Investigaciones Agrarias) y AITIM.

El proyecto se ha centrado en el estudio de la tecnología del eucalipto y se han considerado los diferentes procesos de su transformación mecánica, teniendo en cuenta los problemas específicos que presenta esta especie (las tensiones de crecimiento y su secado).



## Objetivos

El objetivo del proyecto ha sido mejorar la valorización tecnológica del *Eucalyptus globulus* Labill. Los objetivos específicos se han centrado en:

- la arquitectura de los árboles en pie
- las propiedades de la madera
- la tecnología de los productos intermedios y de los productos acabados

## Fases

Las fases del proyecto han sido:

### Fase 1 Determinación de la calidad de la madera de los árboles en pie mediante métodos no destructivos

- 1.1.- Medida de las tensiones de crecimiento
- 1.2.- Estudio de las técnicas de apeo y métodos de almacenamiento
- 1.3.- Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de probetas libres de defecto

### Fase 2 Procesos de transformación

- 2.1.- Estudio de los métodos de
- 2.2.- Estudio del desenrollo y corte a la plana
- 2.3.- Tecnología del secado
- 2.4.- Tecnología del encolado
- 2.5.- Determinación de la curabilidad natural. Estudio sobre su protección y acabado

### Fase 3 Desarrollo de prototipos

- 3.1.- Evaluación de prototipos de puertas, ventanas, tarimas, parquets, tableros alistonados, perfiles laminados y muebles
- 3.2.- Evaluación de los valores de resistencia a flexión de vigas de madera en medidas comerciales.

## Comentarios

# Conclusiones del informe final

## Fase 1

## Detenninación de la calidad de la madera de los árboles en pie mediante métodos no destructivos

## Tarea 1.1

### Medida de las tensiones de crecimiento

Se estudiaron las tensiones de crecimiento de los árboles en pie, en diferentes parcelas localizadas en España (Galicia) y Portugal, tratando de relacionar la variabilidad de sus valores con las características dendrológicas y las de su localización. Estos resultados se compararon con los valores obtenidos en otras parcelas localizadas en Córcega (Francia), Congo y China.

Las tensiones de crecimiento se obtuvieron por el método de un orificio» utilizando un sensor que evaluaba la componente axial de las deformaciones originadas por las tensiones de crecimiento.

El resultado más significativo, que ya se esperaba, es la relación entre las tensiones de crecimiento con la edad y con el diámetro; «cuando estos parámetros aumentan las tensiones de crecimiento disminuyen». También existen relaciones, pero con un nivel de significancia menor, con la dirección del viento, con la presencia de fibra ondulada, con la relación diámetro/altura (que depende del espaciamiento en la masa forestal), etc.

La disminución de los valores de las tensiones de crecimiento comienza

entre los 24-31 años para los eucalip- tos gallegos, mientras que en Córcega esto ocurre entre los 15-20 años. La justificación de esta disminución se basa en la pérdida de la vitalidad del árbol originada por la pérdida de la actividad del cambium. En Galicia, debido a sus buenas condiciones de crecimiento, sucede mucho más tarde que en Córcega.

A continuación se evaluó la variabilidad de las tensiones de crecimiento dentro de un mismo árbol que conducen a la aparición de la madera de tensión. Se concluyó que esta variabilidad está influenciada por la relación existente entre el diámetro y la altura del árbol.

Posteriormente en la tarea 2.1 de aserrado, y en particular con el despiece al cuarto, se comprobó que la curvatura que se produce en cada cuarto es proporcional a las tensiones de crecimiento e inversamente proporcional al diámetro del árbol. Este hecho volvía a recalcar el mejor comportamiento de los árboles maduros y con mayor diámetro.

Debido a la escasa relación entre los parámetros morfológicos del árbol y las tensiones de crecimiento no es posible realizar una clasificación visual.

La gran influencia que tienen la edad y el diámetro del árbol sobre las

tensiones de crecimiento convierten a los tratamientos de selección, y en especial al turno de corta, en la mejor herramienta para disminuir las tensiones de crecimiento.

### Tarea 1.2 Técnicas de apeo y métodos de almacenamiento

Se comprobó que las grandes fendas que aparecen una vez apeado el árbol se deben o están relacionadas con las tensiones de crecimiento. Además la aparición de las fendas también se debe:

- a las técnicas de apeo y de tronzado que se utilizan normalmente
- el choque que produce la caída del árbol
- el tiempo que transcurre entre el apeo y el tronzado

El desarrollo de máquinas especiales del tipo «cosechadoras» adaptadas a las dimensiones y al peso de esta madera debe ser una línea a considerar. La gran ventaja de esta es el método de corte utilizado (corte limpio) y que se evitan que aparezcan las fendas originadas al utilizar métodos manuales.

TABLA 1

PROPIEDAD	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	RANGO DE VALORES EN LA DIR. RADIAL	
D	g/cm <sup>3</sup>	0,83	0,06	0,65 - 0,96
N		3,90	0,50	-
v	% / %	0,73	0,07	-
R <sub>T</sub>	%	11,90	1,80	7,50 - 15
R <sub>R</sub>	%	7,30	1,40	5,50 - 10
R <sub>L</sub>	%	0,40	0,09	0,10 - 0,6
C <sub>12</sub>	MPa	76,00	11,00	-
F <sub>12</sub>	MPa	142,00	22,00	-
E <sub>Lg</sub>	GPa	13,00	2,80	7,0 - 21
E <sub>L</sub>	GPa	16,50	3,10	11 - 23



## 82 Investigación

### Tarea 1.3 Determinación de las propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físico-mecánicas se obtuvieron de probetas libres de defectos provenientes de árboles que tenían 25 años y diámetros de 0,3 a 0,6 metros a la altura del pecho (1,5 m).

La variación de las propiedades físicas de la madera se debe a la gran heterogeneidad de la calidad de las distintas tablas o tablones obtenidos de un mismo árbol. Las propiedades varían desde la médula hasta el cambium en la siguiente proporción:

- de 1 a 2 para la densidad
- de 1 a 2 para la contracción tangencial y la radial
- de 1 a 2 para el  $E_L$

Estos incrementos pueden atribuirse al cambio originado por la transición de la madera juvenil a la madera madura. La variación en la dirección radial es mucho mayor que en la longitudinal o axial. En esta especie no se han detectado variaciones debidas al factor altura.

Las propiedades mecánicas van aumentando y mejorando a medida que la madera se hace más homogénea con la madurez de los árboles (edad).

Debido a la importancia de las variaciones que se producen en la dirección radial en la siguiente tabla se dan los valores medios de las principales características conjuntamente con la desviación estándar y con el rango de variaciones que se producen en esta dirección (ver Tabla 1).

### Fase 2 Procesos de transformación

#### Tarea 2.1 Estudio de los métodos de aserrado

Se recomienda utilizar el método al cuarto, siempre que el diámetro lo permita. Ya que este es el mejor método cuando se tienen en cuenta la estabilidad dimensional, las deformaciones y las fendas internas que se producen durante el secado.

Los rendimientos por  $m^3$  obtenidos con este método son:

- 0,6  $m^3$  tablas verde (lo más anchas posible)
- 0,3  $m^3$  corteza y costeros
- 0,1  $m^3$  serrín

Las sierras utilizadas se prepararon con **spring-set (chaflanado)** con el cual se consiguieron buenos resultados refiriéndolos a la calidad del aserrado y al embotamiento de los dientes de la sierra. Se puede trabajar durante más de 2 horas y obtener, en ese período de tiempo, alrededor de 4  $m^3$ .

La potencia de las sierras de cinta debe ser superior a los 80 CV, debido a la elevada densidad del eucalipto. Todos los elementos utilizados (cambiadores, cadenas y/o rodillos de transporte, etc) han de ser lo suficientemente fuertes para resistir el peso de esta madera.

El carro ideal debería tener 3 garras o cabezas hidráulicas.

La longitud máxima de las trozas

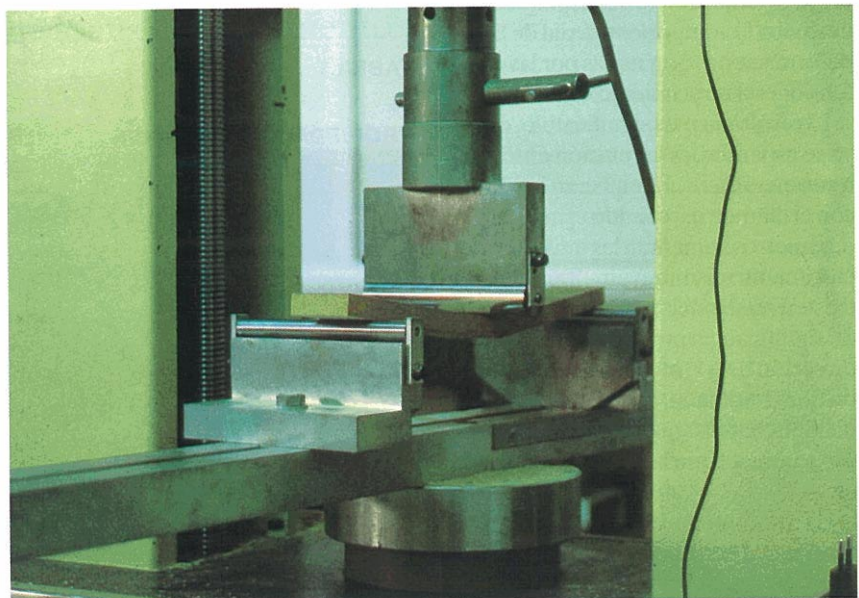
debería ser de 3 metros para evitar o minimizar las deformaciones que se producen durante el aserrado. A escala industrial se están utilizando longitudes de troza de 2,1 metros.

No es necesario el descortezado antes del aserrado. Los troncos recién descortezados pueden provocar problemas debido a sus desplazamientos (escurrimientos).

El pretratamiento de los rollos mediante su cocido es un buen método para relajar las tensiones internas y a su vez permite un aserrado más fácil, pero ha de tenerse especial cuidado para evitar un colapso excesivo debido al rápido proceso de secado que se produce en la madera caliente.

Los rollos que se van a aserrar:

- no deben tener forma espiralada
- no deben presentar más de una reorientación
- la altura de la primera rama debería estar por encima de los 8,5 metros (que coincide más o menos con la cuarta troza que se obtiene de un mismo tronco)
- no deben presentar una circunferencia irregular en su base
- no deben presentar defectos visibles como pudriciones, ataques de insectos xilófagos, etc



### Tarea 2.2 Estudio del desarrollo y corte a la plana

Se desenrollaron 30 troncos diferentes de 2,6 metros de largo y que tenían diámetros superiores a los 30 cm.

El tiempo transcurrido entre el apeo y el desenrollo fue de 5-7 días.

#### Conclusiones

-los pretratamientos de cocido y vaporizado permiten reducir la energía total que se consume en la operación de desenrollo, pero tiene el inconveniente de reducir la calidad de las chapas obtenidas debido a la gran cantidad de fendas que se producen.

-las variables morfológicas de las trozas son muy similares a las que presentan otras especies

-se han obtenido rendimientos del 28 % ( $m^3$  tablero /  $m^3$  madera en rollo)

-la calidad de las chapas es suficiente para aplicaciones estructurales pero insuficiente para aplicaciones decorativas

-el CTBA recomienda los siguientes parámetros.

- 10 % tanto por ciento depresión (paso - espesor / espesor)
- 13,5 / 10 mm paso
- 5,5 / 10 mm altura vertical
- ángulo de desahogo 2°

### Tarea 2.3 Tecnología del secado

Se ensayaron todos los métodos de secado y se llegaron a las siguientes conclusiones:

-el secado al aire libre es muy lento, sobre todo en invierno, y como máximo se pueden conseguir contenidos de humedad del 20-25 %. Durante el verano es posible y frecuente que la madera se colapse, por lo que se recomienda utilizar rastreles delgados y evitar los emplazamientos soleados y/o con mucho viento. En verano la duración del secado es la mitad que en invierno, sin embargo la duración total del secado depende de las

condiciones atmosféricas y de las características de la explotación.

-el secado solar es un método adecuado y a la vez es de 2 a 3,5 veces más rápido que el secado al aire libre. La calidad obtenida es similar a la obtenida con el secado en cámara. El contenido final de la humedad que se puede obtener es igual o inferior al 10 % y la energía consumida es de 0,280 kWh/kg.

-el secado en cámara utilizando la cédula de secado del CTBA nº 1, pero con unas condiciones un poco más duras en la primera fase, consigue una buena calidad pero el tiempo que hay que emplear supone un gran coste económico. Es el mejor método para tablas con espesores inferiores a 50 mm especialmente si la madera está pre-secada.

-el secado al vacío (calentado con vapor) obtiene los mejores resultados, pero la cédula propuesta para tablas con espesores superiores a 50 mm emplea demasiado tiempo, más de 35 días. Es el mejor método para tablas con espesores superiores a 50 mm.

-el secado por alta temperatura no es adecuado para esta especie ni para madera verde ni para madera que tenga un contenido de humedad inferior correspondiente al punto de saturación de las fibras.

-con los resultados obtenidos de la tarea 2.1. «Estudio del aserrado\*» se concluye que si requiere una alta calidad de madera aserrada se debería utilizar el despiece al cuarto, ya que las tablas aserradas utilizando el despiece tangencial presentan muchas fendas superficiales, deformaciones y grandes variaciones en su espesor (en algunos casos y en algunas zonas de la pieza el espesor se duplica)

-el colapso es el defecto más común pero puede evitarse utilizando vapor en la fase de acondicionamiento (2 horas por cada 25 mm de grueso). Además con este acondicionamiento se consigue equilibrar el contenido final de la humedad y eliminar el endurecimiento superficial, cuando este se presenta. Aunque la calidad final se mejora enormemente utilizando este acondi-



cionado, requiere la utilización de cámaras especiales que tengan un buen aislamiento interior que actualmente no se encuentran disponibles a nivel industrial.

-el mayor problema para la evaluación de la calidad de la madera es utilizar un método correcto para medir el nivel de colapso. No se pueden utilizar las recomendaciones de la EDG por lo que es necesario encontrar o definir un nuevo método.

### Tarea 2.4 Tecnología del encolado

#### - Tableros contrachapados

La utilización de colas fenólicas para la fabricación de tableros contrachapados con los métodos tradicionales no es muy adecuado debido a la calidad final del tablero obtenida. La adición de un 2% de resorcina mejora en gran medida la calidad. Además en los sistemas de encolado en húmedo (BORDEN) es posible obtener tableros contrachapados clasificados como «exteriores» (norma UNE EN 314-2) a partir de chapas de madera con un contenido de humedad del 11 %.



## 84 Investigación

### - Madera laminada encolada

Se obtuvieron buenos resultados utilizando colas UF (urea-formaldehído) y RF (resorcina-formaldehído). La presión recomendada para su fabricación ha de ser superior a 7 bar y para las colas RF se requiere un mayor tiempo de unión.

Consideraciones a tener en cuenta en la fabricación de madera laminada

- la densidad de las piezas de madera utilizada en las láminas no debe de exceder de 850-860 kg/m<sup>3</sup>.
- la densidad de las láminas de una misma viga debe ser uniforme
- se recomienda emplear láminas más delgadas de las habituales

No se deben emplear colas RF si la superficie de la madera no está correctamente cepillada debido a que las tensiones inducidas en la línea de coladura durante su envejecimiento son muy importantes.

### - perfiles laminados

Las recomendaciones para la utilización de las colas de PVA (acetato de polivinilo) son las siguientes:

tes:

- contenido de humedad de la madera: 10 - 12 %
- presión de encolado: 0,7 - 1 MPa
- tiempo de prensado: 20 - 30 minutos
- superficie de la madera: perfectamente plana y cepillada
- temperatura de prensado: 50 °C
- temperatura ambiental: igual o superior a 15 °C
- humedad relativa ambiental: 50 - 75 %
- si se aplican presiones superiores a 1 MPa se pueden producir pequeñas tensiones de resistencia.
- tiempo de fraguado: 48 horas

### Tarea 2.5

#### Determinación de la durabilidad natural. Estudios sobre su protección y acabado

##### - protección de la madera

La vida útil de postes de madera de eucalipto no tratados y empotrados en el suelo es de 4 años.

La madera de duramen no es impregnable.

La madera de albura es fácilmente atacable por los líctidos

La utilización de métodos de protección tradicionales (sustitución de la savia e inmersión) con protectores hidrosolubles (CCA y CFK) para la madera verde son muy efectivos, ya que se consigue una gran impregnación de la madera de albura. Se alcanza una vida útil de 13 años para los postes de madera de eucalipto empotrados en el suelo.

La utilización del método de inmersión con productos orgánicos para la madera seca es poco efectiva.

La madera de eucalipto no se puede utilizar en la clase de riesgo 4.

##### - acabado

Se realizaron ensayos con pinturas, barnices y tintes. Aunque todos los productos mostraron una buena adherencia antes y después de los ensayos, los mejores resultados se obtuvieron con las pinturas.

La utilización de pinturas disminuye la aparición de fendas superficiales.

### Fase 3

## Desarrollo de prototipos

### Tarea 3.1

#### Prototipos industriales de carpintería

Se fabricaron los siguientes elementos:

- 4 vigas de madera laminada
- 6 ventanas
- 6 puertas
- 92 perfiles laminados
- 600 elementos de parquet
- tableros alistonados
- sencillos prototipos de muebles

Todos los prototipos se fabricaron por la industria y no presentaron ningún problema en su elaboración, siempre y cuando se le suministre a la industria la materia prima adecuada (madera seca, dimensiones y calidad especificada).

El comportamiento de las puertas es excelente con el único inconveniente de su peso.



En las ventanas de madera elaboradas con los perfiles laminados, en las que lo que realmente prima es el diseño de perfil, no hubo ningún problema para obtener las máximas calificaciones. En este tema hay que estudiar si se producen cambios dimensionales a lo largo del tiempo. Se ha de profundizar en el comportamiento y mejora de la carpintería exterior.

Todo indica que el aprovechamiento industrial de la madera de eucalipto debena centrarse en:

- perfiles laminados
- tableros laminados

### Tarea 3.2 Evaluación de los valores de resistencia a flexión en medidas comerciales

#### - madera sólida

El INIA ensayó 187 vigas de madera de 1.900 x 100 x 40 mm de acuerdo con la norma ISO 8375. Los valores característicos obtenidos son:

- densidad: 700,0 kg/m<sup>3</sup>
- MOR : 45,8 MPa
- MOE : 22.500,0 MPa

La densidad se correlaciona bien con el MOR ( $R^2 = 34,94\%$ ) y con el MOE (36,22%). El coeficiente de determinación del MOR en relación con el MOE es del 54,28%.

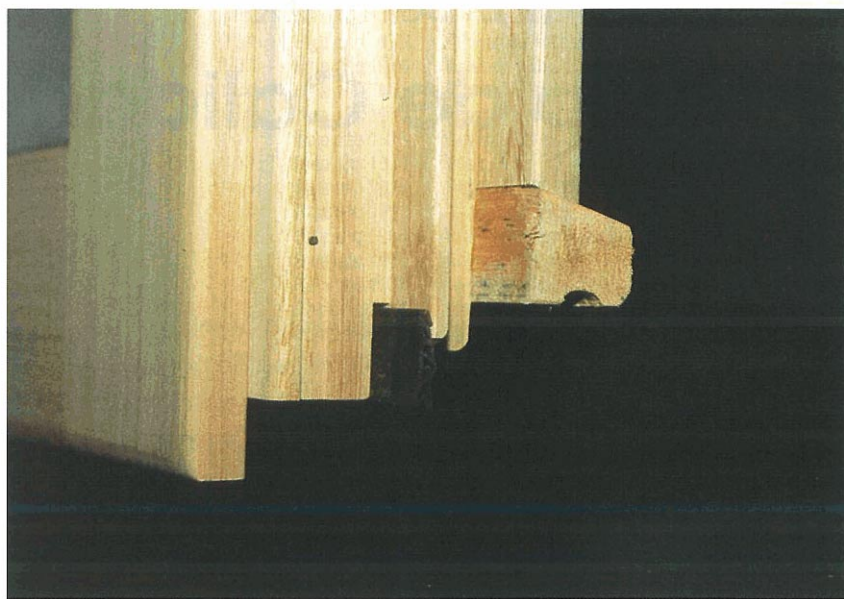
Los principales defectos de esta madera son las fendas, conjuntamente con la desviación de la fibra (en forma de espiral). Es muy difícil de evaluar el ratio de crecimiento.

Los valores del MOR y del MOE obtenidos con probetas pequeñas no se correlacionan bien con los obtenidos en dimensiones comerciales,

#### - Madera laminada

AITM ensayo 4 vigas de madera laminada de 5.000 x 240 x 70 mm obteniendo los siguientes resultados:

- densidad 806 kg/m<sup>3</sup>
- MOR(\*) 36,3 MPa



- MOE (flexión) 19.700 MPa
- MOE (ultrasonidos) 21.800 MPa
- Cortante en línea de cola: 122 MPa
- Cortante de madera sólida de eucalipto 15,4 MPa

(\*) este bajo valor estuvo originado por un defecto de fabricación

### Miscelaneo

Correlación entre la composición química y las tensiones de crecimiento:

-existe una clara relación entre el nivel de las tensiones y el contenido en holocelulosa que no se da con los contenidos de ceniza, lignina y pentosanos.

-existe una clara relación entre el nivel de las tensiones y el total de los extractos obtenidos por el método del Alcohol-benceno.

