

INNOVACIÓN DE PROCESOS Y PRODUCTOS EN EL SECTOR DE LA MADERA

Abel Vega Cueto¹, Elena Canga Libano¹, Sandra Sánchez García¹, Andrea Hevía Cabal¹, Isabel Feito Díaz², María Menéndez-Miguélez¹, Marta González-García¹, Celia Martínez Alonso¹ y Juan Pedro Majada Guijo^{1,2}

¹ Centro Tecnológico Forestal y de la Madera, CETEMAS, Finca Experimental, La Mata, 33820-GRADO (Principado de Asturias, España). Correo electrónico: jmajada@cetemas.es

² Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, SERIDA. Finca Experimental, La Mata, 33820-GRADO (Principado de Asturias, España)

Resumen

La definición de las características de la transformación y nuevos usos en los productos forestales comienza con la mejora genética, incidiendo ésta en la selección de caracteres de interés para la aplicación final. Además, la innovación en la mejora ha incluido recientemente la estimación de pesos óptimos económicos para el establecimiento de los objetivos a alcanzar en aquellos caracteres susceptibles de afectar a la calidad del proceso o producto (madera para pasta, bioenergía, biorefinerías o madera para uso estructural). Por otra parte, es importante destacar la introducción de innovaciones para optimizar el aprovechamiento de los recursos forestales, donde el uso de nuevas tecnologías TICs, GIS, etc. están permitiendo definir herramientas específicas que permiten garantizar la sostenibilidad de los citados aprovechamientos. En todo caso, la gestión de los recursos debe estar orientada a producto, para garantizar el suministro al sector industrial de madera de calidad y herramientas para manejar las características específicas de la madera de cada especie, su impacto en el aprovechamiento, su calidad y valor añadido, así como su mercado potencial. Entrando en el campo de la transformación la industria necesita incrementar su competitividad de cara a hacer frente al déficit de suministro de material prima local de calidad, a la presión del mercado internacional cada vez más global y de otros materiales ya consolidados en el mercado. A este nivel la optimización del aserrado, secado y protección de la madera constituyen los principales campos de innovación. La ingeniería de productos de madera ha experimentado un auténtico boom en los últimos años, con grandes innovaciones en las principales líneas de aplicaciones: chapas de frondosas y coníferas, contrachapado, tableros LVL, OSB y MDF. En cuanto a los sistemas de construcción el desarrollo de materiales implica mejorar el comportamiento acústico, la resistencia al fuego, la durabilidad, el impacto ambiental y la sostenibilidad y el comportamiento estructural de edificios con base madera que beneficien a ingenieros, arquitectos y empresas de construcción. Finalmente se describirán los nuevos desarrollos en productos de alto valor añadido. Estos programas de investigación e innovación cubren distintos enfoques a través de la cadena de valor, desde el recurso hasta el producto. Destacaremos por su importancia y proyección futura las biorefinerías, la bioenergía, las nanotecnologías y la biotecnología.

Palabras clave: *Mejora genética, Calidad de madera, Ingeniería de productos con base madera, Biorefinería, Bioenergía forestal, Bioproductos forestales, Nanotecnología, Biotecnología con base madera*

MEJORA GENÉTICA ORIENTADA A PRODUCTOS

Se espera una creciente demanda en la calidad de muchos de los productos obtenidos de nuestros bosques cultivados, basada en muchas ocasiones en la optimización de los costes de procesos (por ejemplo en la reducción del contenido de lignina para la producción de pasta de celulosa) o directamente en el incremento de la calidad del producto (por ejemplo en el incremento de las clases resistentes en la madera sólida empleada en construcción). Hasta la fecha la producción de madera de distintas especies ha logrado mejoras sostenidas de la producción mediante el desarrollo de programas de mejora para la selección de múltiples caracteres, haciendo hincapié en una combinación de crecimiento, forma, resistencia a factores bióticos y abióticos y propiedades de la madera como la densidad básica (APIOLAZA, 2000; BURDON *et al.*, 1992; KUMAR 2004; WATT *et al.*, 2000). Adicionalmente el desarrollo reciente de nuevas tecnologías de fenotipado permite una nueva aproximación en los programas de mejora, en los cuales se podrán incluir tantos caracteres como sea posible evaluar con implicación en diferentes procesos que determinen respuestas integradas (ALIA Y MAJADA, 2013).

La definición de los objetivos de mejora en el sector forestal no es trivial, ya que hay dificultades que generan incertidumbres relacionadas con el equilibrio entre caracteres objetivo, la complejidad en los sistemas de procesado, las relaciones entre caracteres de madera y de producción, la calidad de los productos finales y los períodos de rotación (APIOLAZA & GREAVES, 2001). Por todo ello, las innovaciones en los programas de mejora pasan por introducir unos objetivos claros que integren el valor económico del crecimiento y adaptabilidad y las características de la calidad de producto. De esta manera los programas estarán trabajando de acuerdo a las expectativas de la industria y por tanto mejorando la eficiencia y la competitividad. Estos nuevos modelos de mejora se conocen como modelos bioeconómicos. Podemos citar como ejemplo ilustrativo el programa de Radiata Pine Breeding Company Ltd. (RPBC, Patente 161558450), desarrollado en Nueva Zelanda, en donde se ha implantado este nuevo concepto de

mejora, y el cual muestra cómo se pueden introducir modelos bioeconómicos en los objetivos de mejora para la producción de madera estructural de *Pinus radiata*. Se trata de un proyecto innovador en el cual la definición de los caracteres de mejora se realiza por parte de todos los agentes implicados en la cadena de valor (productores, aserraderos y asociaciones de empresas consumidoras de radiata como materia prima y todo ello con apoyo de la administración pública).

El modelo bioeconómico establece para el programa de mejora objetivos para distintos caracteres como el incremento medio anual, la forma del fuste, el tamaño medio de las ramas, la producción de madera y el módulo de elasticidad, para lo cual se han tenido en cuenta valores de referencia obtenidos a partir de las necesidades del sector industrial. En su programa, si los valores de referencia se estableciesen de forma independiente para los intereses de los propietarios, el carácter más importante sería el crecimiento corriente (CC), con una mejora potencial en su programa del 31%, mientras que para los aserraderos el más importante sería el módulo de elasticidad de la madera (MOE), con una mejora potencial del 29%. Para un sistema integrado para los dos caracteres más importantes, el programa basado en el modelo bioeconómico ha establecido finalmente unos niveles de mejora del MOE y CC del 24% y 21% respectivamente.

Para desarrollar los objetivos de mejora basado en este tipo de modelos se deben considerar los siguientes aspectos:

- Definición de los sistemas de producción para la producción de madera sólida.
- Definición de los caracteres de mejora incluyendo las necesidades industriales.
- Desarrollo de un modelo bioeconómico y estimación de la ponderación para los distintos caracteres de mejora.
- Estimación de los parámetros genéticos para relacionar selección precoz y caracteres objetivo de mejora.
- Estimación de los índices de selección para los tres tipos de clientes (propietarios forestales, aserraderos y compañías integrales).
- Estudio de la sensibilidad de la estimación de los pesos económicos e índices de selección en los parámetros económicos, biológicos y genéticos del modelo bioeconómico.

Desde la mejora, también está progresando de forma importante la realización de estudios de las normas de reacción que describen la variación de genotipos ante la exposición a un rango continuo de ambientes. En este contexto, aparece “Phenomics”, término emergente que engloba de forma transdisciplinaria distintas herramientas dedicadas al estudio sistemático de fenotipos en una escala amplia del genoma; campo que aún no ha sido totalmente desarrollado para las especies forestales (HOULE *et al.*, 2010).

INGENIERÍA DE PRODUCTOS CON BASE MADERA

Enfocado a satisfacer la demanda de los consumidores el sector de segunda transformación trabaja para mejorar procesos y desarrollar productos con valor añadido que mantengan e incrementen el sector de la industria forestal. Así mismo han surgido numerosas innovaciones con objeto de sensibilizar a prescriptores de la industria de la construcción y consumidores finales la ventaja de emplear productos con base madera (por ejemplo Construir, Vivir y Transportar con Madera dentro de la estrategia europea Roadmap 2010). La palabra 'ingeniería' implica la acción de partir de una troza para posteriormente construir o reconstituir un producto con un proceso industrial perfectamente

planificado para lograr unas prestaciones estructurales, dimensionales, térmicas o de apariencia. El éxito en el mercado de estos productos se debe a que maximiza los recursos forestales y optimiza la calidad de los productos para los prescriptores. La mayoría de los productos de madera de ingeniería se pueden clasificar según el tamaño de la materia prima y orientación de su fibra (Figura 1).

Los productos de este sector incluyen madera de apariencia (suelos, armarios, muebles, carpintería, revestimientos, etc.), productos remanufacturados, productos prefabricados de construcción estructurales (vigas, paredes, forjados, paneles aislantes, estructurales) y otros materiales de construcción.

La ingeniería de productos de madera ha experimentado un auténtico boom en los últimos años, con grandes innovaciones en las principales líneas de aplicaciones: laminados, chapas de frondosas y coníferas, contrachapado, tableros LVL, OSB y MDF. A nivel nacional se sigue trabajando en la caracterización de la madera de distintas especies, habiéndose finalizado el castaño (VEGA *et al.*, 2011 y VEGA *et al.*, 2012).

En cuanto a los sistemas de construcción la investigación y desarrollo de materiales está orientada a mejorar el comportamiento acústico, la resistencia al fuego, la durabilidad, el impacto ambiental y la sostenibilidad y el comportamiento estructural de edificios con base madera

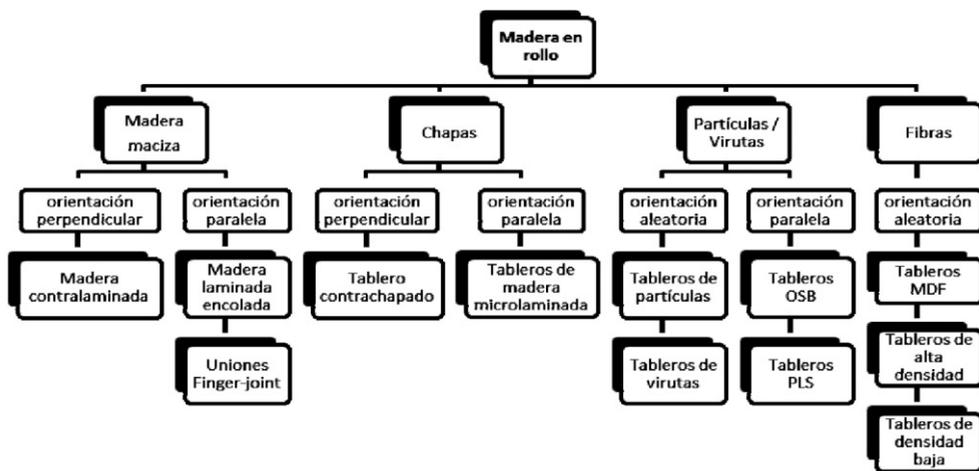


Figura 1. Productos de ingeniería con base madera

que beneficien a ingenieros, arquitectos y empresas de construcción.

En el campo de los bioplásticos, se está produciendo una gran cantidad de innovaciones, específicamente aplicados al sector de embalaje e higiene. Estas innovaciones están encontrando también nichos de mercado en la industria del automóvil y electrónica con un futuro prometededor (CLARK *et al.*, 2012).

En el área de tableros encontramos dos áreas importantes de innovación: la disminución de uso de formaldehídos y la mejora de prestaciones técnicas. Los adhesivos más ampliamente utilizados para la fabricación de tableros son la urea formaldehído y el fenol formaldehído. Entre los nuevos desarrollos caben citar las resinas isocianato que proporcionan la adherencia de las partículas sin necesidad de comprimirlas excesivamente. El resultado es un panel más ligero, y menos propenso a la hinchazón.

El carácter de autocondensación de los taninos presentes en las cortezas de diversas especies forestales les confieren el potencial suficiente para la producción de adhesivos libres de aldehídos y por tanto con cero emisiones. Las características limitantes de estos productos son un rendimiento inconsistente, alta viscosidad y resistencia de unión relativamente pobre que puede dar lugar a dificultades en la formulación de adhesivos de tanino. Sin embargo, en laboratorio o a escala piloto se ha demostrado que estos problemas pueden ser resueltos por modificación de la viscosidad (CRAMMOND & WILCOX, 1992; KIM & MAINWARING, 1996), la fortificación (PIZZI, 1994.), el propio proceso (KREIBICH & HEMINGWAY, 1987) y la purificación (YAZAKI, 1985). Más recientemente y en nuestro ámbito geográfico un trabajo ha puesto en evidencia que en la mayoría de los casos, tras un proceso de glioxilación, algunas de las principales especies forestales del sur de Europa presentan un potencial adecuado para la constitución de adhesivos (BERTAUD *et al.*, 2012).

Fruto de esta línea de trabajo están surgiendo nuevos desarrollos, citando a modo de ejemplo Hexion Specialty Chemicals, Inc., que lanzó en 2010 nuevos productos (resinas Ecobind™) diseñadas para reducir las emisiones de madera contrachapada muy por debajo de los estándares globales más exigentes. Existen dos categorías

de productos – amino resinas con ultrabaja emisión de formaldehído (ULEF) y resinas libres de formaldehído (NAF) – que pueden satisfacer las necesidades de los clientes más exigentes en la reducción de emisiones y que ya han sido incorporados por distintos fabricantes (por ej. Finsa Fibranor en Estados Unidos). Otros desarrollos relacionados con la obtención de bioproductos (en este mismo documento), han permitido desarrollar aditivos para la industria del tablero, partiendo de taninos de origen forestal. Es el caso de Colatan GTF, que permite reducir las emisiones de formaldehído, cumpliendo con los estándares internacionales para tableros E1. Los polifenoles a partir de los cuales se fabrican los adhesivos se obtienen por extracción de Quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii*) y es utilizado para la producción de PB, OSB y MDF. Este tipo de productos se están empleando también en el envejecimiento acelerado de tablas para la obtención de productos de alto valor añadido o en la oxidación de chapas de madera mediante su exposición en autoclave.

En el segundo aspecto de mejora en el campo de los tableros encontramos la mejora de prestaciones técnicas, destacando la aplicación de la acetilación que ha entrado con fuerza como una tecnología innovadora baja en carbono que impermeabiliza, refuerza y amplía la vida útil de la madera blanda hasta unos 50 años, convirtiendo productos composites como el MDF en un producto listo para ser usado al aire libre, hecho que podría revolucionar el uso de este tipo de composites con base madera (MAES & POL, 2012).

La tecnología ha sido desarrollada por la empresa británica Accsys. Al igual que sucede con la acetilación de la madera maciza, los cambios generan materiales más fuertes y durables. A modo de ejemplo se presenta un estudio comparativo de resistencia de tableros MDF de álamo frente al mismo producto pero con la materia prima acetilada (Tabla 1).

PRODUCTOS DE MADERA MODIFICADA

La modificación de la madera es un tratamiento efectuado sobre la madera, mediante el cual la estructura molecular de los polímeros de

Ensayo de resistencia a hongos en tableros MDF de álamo		
Meses	Control (sin acetilación)	MDF con elementos acetilados
24	4	10
36	1,3	10
48	1,3	10
60	1,3	10
72	0	10

Tabla 1. Ensayo de resistencia a hongos en tableros MDF de álamo. Ensayos realizados sobre suelo no estéril con presencia de hongos de pudrición. Valoración cualitativa: 0. completamente destrozado y 10. sin presencia de ataque (MAES & POL, 2012, Patente EP 2531561 A1)

la pared celular es alterada (celulosa, hemicelulosa y ligninas). En la modificación térmica parte de los polímeros resulta alterada. Por el contra en la modificación química la mayor parte de los grupos hidroxilo son reemplazados por grupos químicos más hidrofóbicos (Figura 2). Entre los métodos químicos, veremos los más representativos: acetilación y furfuralización.

El inicio de la modificación de la madera por aplicación de calor se inicia con las primeras publicaciones de BURMESTER (1973), el cual indica los principios básicos del proceso denominado FWD-process (“Feuchte, Wärme und Druck”). Los tratamientos térmicos permiten realizar una pirólisis controlada de la madera (>180 °C) en ausencia de oxígeno induciendo cambios químicos en la madera. Desde entonces se han desarrollado diferentes tecnologías que utilizan en el proceso diferentes medios como gas, vapor o aceite caliente (MILITZ, 2002). En función de las temperaturas alcanzadas se inician alteraciones de distintos componentes que inducen cambios en el comportamiento de la madera.

La madera Termo-Tratada combina las características únicas tales como resistencia al agua, durabilidad y la estabilidad dimensional. Entre las aplicaciones de madera Termo-Tratada podemos destacar el uso en decoraciones exteriores, fabricación de terrazas, fabricación de muebles (sobre todo para jardines), suelos, parquet y tarimas, ventanas, verjas, murallas acústicas para autopistas, cubiertas, pavimentos de aceras, escaleras, áreas alrededor de piscinas, decoración de interiores, etc. Todos los sistemas de modificación térmica disponibles en el mercado mejoran las propiedades de estabilidad dimensional, disminuyen la higroscopicidad y mejoran la durabilidad frente a la biodegradación (YILGOR et al.,

2001; KARTAL et al., 2008). La temperatura y duración del programa térmico varía generalmente entre 180 y 280°C y el tiempo entre 15 minutos y 24 horas dependiendo del proceso de calentamiento, de la especie, del tamaño de la muestra, la humedad inicial y las propiedades y resistencia deseadas en el producto final (KAMDE et al., 2002). La temperatura condiciona en gran medida las propiedades del producto final (JOŠČAK et al., 2007), así por ejemplo, los tratamientos con temperaturas en el rango inferior por períodos más largos, no presentan resultados comparables a la exposición a altas temperaturas.

La modificación térmica está mediada por una degradación de las hemicelulosas, las cuales disponen en condiciones naturales de una gran disponibilidad de grupos hidroxilo. Debido a esta degradación se reduce la higroscopicidad y se mejora la estabilidad dimensional. Las maderas modificadas establecen un equilibrio en torno a un 4-5% de humedad en lugar de 10-12% (INOUE, 1993). Estos cambios provocan que la madera tratada tenga menos vida, lo que significa que la reducción y la hinchazón sea considerablemente menor. Por otra parte en función de la temperatura, tiempo de tratamiento y también la técnica utilizada, la estabilidad dimensional puede pasar de un 55% a un 90% (YILDIZ et al., 2006). Además, el tratamiento térmico también puede dar lugar a pérdida de peso, dependiendo de la temperatura y tiempo de tratamiento. En un estudio sobre (*Picea abies*) madera de abeto, un tratamiento térmico durante 24 horas provoca una pérdida de peso de un 0,8% y un 15,5% a 120 y 200°C respectivamente (FENGEL, 1996). A continuación se expone una revisión de las principales tecnologías de modificación térmica de la madera:

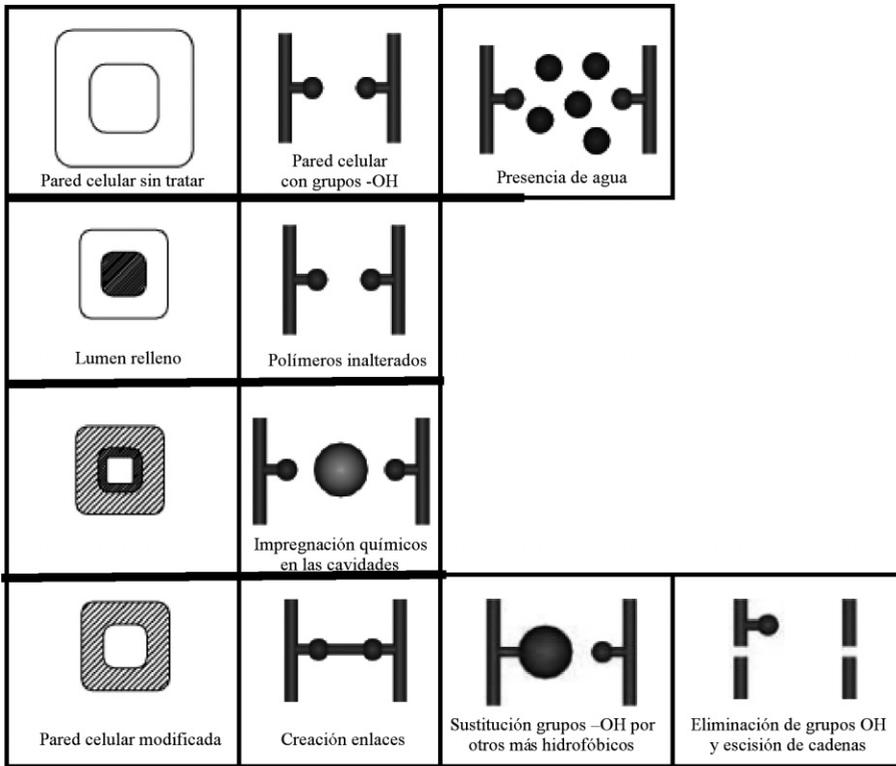


Figura 2. Diferentes tratamientos de la madera

Madera Termotratada Plato (PLATO BV, The Netherlands). Este proceso fue inventado en la década de los 80 por Shell (RUYTER, 1989) y ahora es explotado por Plato Company en Holanda. PLATO utiliza una estrategia de combinar una termohidrólisis con una etapa de curado en seco. En el primer paso del proceso, la madera verde o madera secada al aire se trata a temperaturas de entre 160-190°C bajo sobrepresión (presión supraatmosférica). El tiempo de proceso depende de la especie de madera, del espesor, la forma de la madera, etc. y utiliza un paso inicial de termólisis (4-5 horas), seguido de una etapa de secado intermedio (3-5 días) y un acondicionamiento final (14-16 horas).

Proceso Retification. Este proceso fue desarrollado por la Escuela de Ingeniería de Saint-Etienne (Francia) VERNOS (2001) y transferido a nivel industrial por Four et Brûleurs REY. La compañía New Option Wood explota el proceso,

el cual comienza con la madera relativamente seca (aprox. 12%) y se calienta hasta 200-240°C en una atmósfera de nitrógeno (por debajo de 2% de oxígeno) (DUCHEZ, 1998).

Bois Perdure. Este procedimiento fue desarrollado por BCI-MBS (Francia). El proceso comienza con la madera en verde, posteriormente se produce un rápido proceso de secado y calentamiento hasta 200-240°C bajo atmósfera de vapor que procede del agua de la propia madera.

OHT - Proceso de termotratado en aceite, desarrollado por la compañía Menz Holz, Alemania (VERNOIS, 2004). El proceso se lleva a cabo en un recipiente de proceso cerrado. Después de cargar el tanque con la madera, el aceite se bombea desde el tanque de almacenamiento al recipiente de proceso. El aceite caliente se mantiene a altas temperaturas (entre 180-260°C) y circula alrededor de la madera. Antes de la descarga el el aceite caliente se bom-

bea de nuevo al recipiente de almacenamiento. Para obtener diferentes productos se pueden utilizar diferentes temperaturas.

Madera termotratada (Thermowood). Este método ha sido desarrollado en el Centro de Investigación de Finlandia VTT con la participación de grandes grupos industriales como Finforest y Stora Enso. Hoy en día existen ocho plantas operando en Finlandia y el proceso se licencia a los miembros de la Asociación Thermowood Finnish. El proceso Thermowood puede dividirse en tres fases principales: Fase 1. La temperatura del horno se eleva a una velocidad rápida mediante calor y vapor a una nivel de alrededor de 100°C. Fase 2. Una vez que el horno ha tomado temperatura se incrementa a un nivel entre 185 y 230°C. Fase 3. La etapa final consiste en bajar la temperatura usando sistemas de pulverización de agua. Una vez que la temperatura llega a 80-90°C se acondiciona para llevar el contenido de humedad de la madera a un nivel del 4% (SYRJÄNEN et al., 2000).

Westwood (EEUU) ha desarrollado avances tecnológicos importantes en el termotratado. El Sistema de Westwood permite ajustar el proceso a la especie, tamaño de la madera, contenido de humedad inicial, composición y la geometría de las piezas a tratar. Este proceso permite obtener un resultado predecible, lo que es especialmente importante para el tratamiento de maderas duras. En el tratamiento la temperatura aire se eleva a unos 210-230°C y se mantiene durante unas 2-3 horas. Aunque la tecnología fue diseñada específicamente para las maderas duras, también ha sido empleada con éxito en maderas blandas.

Madera acetilada. La acetilización consiste en la extracción de las resinas y los azúcares de la madera a una gran temperatura y haciéndola reaccionar con anhídrido acético. Los grupos OH libres se transforman en un grupo acetilo, generando una madera modificada con grupos hidrofóbicos (LARSSON & TILLMAN, 1989). La madera sin modificar tiene "grupos hidroxilo libres" que absorben y liberan agua a medida que cambian las condiciones climáticas, por lo que es propensa a la expansión y contracción, especialmente cuando se usa al aire libre (ventanas, puertas, revestimientos, etc).

Durante el proceso de producción los grupos hidroxilo libres dentro de la madera se transfor-

man en grupos acetilo y esto reduce la capacidad de las paredes celulares de la madera para absorber el agua en aproximadamente un 80%, lo que mejora la estabilidad dimensional de la madera. Además, el cambio en la estructura implica que los hongos e insectos no reconocen el sustrato como madera y por lo tanto no lo atacan, con durabilidades superiores a 25 años. Los ensayos de durabilidad de este tipo de productos los sitúan en una clase 1. Una ganancia en peso de entre el 10-15% es suficiente para garantizar la prevención de la degradación de la madera por hongos.

La presencia en el mercado estaba representada hasta 2012 por @Accoya (Accsys), que en Europa produce en Arnhem (Holanda) y próximamente en Alemania madera acetilada de *Pinus radiata*. Con una tecnología similar, recientemente ha salido al mercado Perennial Wood™ del grupo Eastman Chemical fabricando en Estados Unidos con madera certificada de *Pinus taeda*.

Madera Furfurilada. La polimerización de alcohol furfúrico en la madera es un proceso bien conocido para modificar la madera, mejorando sus propiedades y aumentar su durabilidad. El tratamiento se realiza en autoclave con un proceso en el que intervienen alcohol furfúrico y un iniciador de la reacción, gracias al cual se produce la formación de un polímero a altas temperaturas. Aunque inicialmente se emplearon como iniciadores cloruro de zinc y ácidos orgánicos, en la actualidad se están empleando anhídridos carboxílicos, principalmente maleícos, para mejorar la estabilidad de la impregnación y minimizar el impacto ambiental del producto final (SCHEIDER, 2010; WESTIN, 2008).

La furfuralización mejora considerablemente la higroscopicidad de la madera y, al mismo tiempo, incrementa su densidad y su dureza. Las propiedades mecánicas tienden a mejorar, (excepto la resistencia al impacto) y el color de la madera se oscurece (LANDE et al., 2008). Con una retención adecuada, la madera furfuralizada puede alcanzar la máxima categoría de durabilidad frente a los hongos de pudrición. En la furfuralización las propiedades físico-mecánicas y biológicas de la madera se modifican significativamente (EPMIER et al., 2004 y LANDE et al., 2004). Dado que el grado de modificación depende de la ganancia en porcentaje de peso (WPGs), las innovaciones de este método se centran en bus-

car iniciadores de la reacción y distintas formulaciones de alcohol furfúrico con otros solventes como etanol o metanol que aplicados en distintos porcentajes obtienen distintas prestaciones (LANDE *et al.*, 2010). Además recientemente se ha comenzado a evaluar el efecto de la variabilidad de la madera en cuanto a capacidades de impregnación, incluyendo aspectos como el rodal, la latitud, la altura, la anchura de los anillos y el método de secado.

Impregnación CO₂ supercrítico. En los últimos años se ha investigado la posibilidad de emplear CO₂ como solvente para facilitar la impregnación de la madera debido a sus excepcionales propiedades físicas. El CO₂ supercrítico combina una baja viscosidad y tensión superficial, lo cual facilita la penetración en la madera rápida y eficientemente. El hecho de que estas propiedades puedan combinarse con el tratamiento a altas presiones y temperatura hace que esta tecnología sea muy atractiva para su uso como solvente en impregnación (WESTH, 2010).

BIOPRODUCTOS

La bioeconomía se basa en el uso de los recursos biológicos renovables mediante el desarrollo de bioprocesos y fabricación eco-eficiente de productos. En la actualidad la contribución al desarrollo de nuevos productos y bioprocesos se está evaluando en países como Canadá, como una fuente de diversificación en el sector forestal. Además de los productos forestales convencionales, ya existen más de 500 bioproductos forestales en el mercado, aunque su importancia es difícil de cuantificar debido a que las estadísticas indican el segmento de mercado y no el origen del producto. Aunque hoy en día estos productos representan una industria marginal, su potenciación ayudaría a aumentar la sostenibilidad de los recursos forestales. Entre los bioproductos con potencial para su desarrollo futuro encontramos textiles, fibras, polímeros, adhesivos, bio-insecticidas, antibióticos, fármacos, nutraceúticos, así como productos bioquímicos e industriales. Además la biomasa o derivados de la producción de pasta de celulosa pueden ser empleados para la generación de productos con alto valor añadido: combustibles para transporte

y energía eléctrica para reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles.

La obtención de bioproductos es respetuosa con el medio ambiente, de fácil acceso y es sostenible. Los recursos forestales suponen una fuente rica de productos químicos producidos de forma natural, biodegradable y en muchas ocasiones disponibles por extracción simple y a bajo coste (BADIE & MOHANA, 2009). La mayoría de estos productos naturales están disponibles en abundancia. El cuello de botella principal en relación a su uso directo pasa por la identificación de compuestos funcionales y su validación posterior como paso previo a su industrialización y comercialización.

Los bosques de Europa representan una fuente tremendamente abundante de biomasa. Esta es una ventaja significativa ya que la biomasa es un recurso de importancia cada vez mayor al que muchos analistas refieren como la floreciente "bioeconomía" global. Muchos análisis muestran claramente el prometedor potencial de las nuevas tecnologías y bioproductos para impulsar la sostenibilidad económica de la industria forestal. Los beneficios vendrán, en parte, el uso de los subproductos de los procesos forestales tradicionales para crear nuevos bioproductos de alto valor añadido. La biomasa forestal para su uso en la bioenergía y otros bioproductos proviene de varias fuentes:

- Los residuos o subproductos sobrantes de los procesos de fabricación
- Los árboles y ramas eliminados en la gestión forestal (clareos, podas y claras)
- Los residuos de cosecha tras la corta final
- Plantaciones de biomasa (por ejemplo, eucaliptos, sauces o álamos especies de crecimiento rápido)
- Construcción y demolición
- Los árboles muertos por perturbaciones naturales tales como incendios o ataques de plagas (plagas o enfermedades)

En la actualidad, la energía generada al 100% a partir de biomasa forestal mantiene unos costes muy elevados y a menudo las instalaciones de bioenergía deben ser completadas con otras materias primas, ya sean combustibles fósiles, residuos industriales u otro tipo de residuos (i.e residuos de madera urbanos). En realidad la biomasa forestal supone una gran fuente de recursos

y la reducción ordenada de la carga de biomasa de muchos sistemas forestales permitiría controlar el riesgo de incendios. Sin embargo, existe una brecha de conocimiento importante entre el manejo de la biomasa forestal y la producción de energía o bioproductos, la cual debe ser abordada con una aproximación integrada, incluyendo el riesgo de incendios, la gestión forestal, el efecto sobre los ecosistemas y el abastecimiento de materias primas. La mayor parte de la biomasa procesada proviene de los cultivos intensivos y el resto con gran potencial permanece en gran parte sin explotar hasta la fecha.

Los sistemas de aprovechamiento de biomasa varían según la región en la UE, en gran parte, condicionado por las condiciones orográficas y por el tamaño de los mercados regionales de madera sólida o de madera para pasta. Las regiones con recursos importantes y mercados de madera para pasta suelen dejar grandes volúmenes de biomasa después de la cosecha de madera en rollo con mayor tamaño de pieza residuales. En estas regiones los sistemas de recolección de biomasa suelen proceder a continuación de la cosecha de la madera en rollo. En otras regiones que dependen en mayor medida del aprovechamiento de coníferas, los volúmenes de residuos por hectárea son inferiores y los sistemas empleados más comunes son la explotación del rollizo o la trituración a astillas. En este último caso, la densidad relativamente baja y el valor de la biomasa fuerza al sector en innovar reduciendo costes de explotación y se centra intensamente en la mejora de la eficiencia del transporte.

El futuro éxito de las renovables con biomasa dependerá de un desarrollo integral que incluya una mayor inversión en investigación y desarrollo con mejoras tecnológicas en el aprovechamiento (cosecha y manejo), optimización de la logística y organización, así como un adecuado sistema de incentivos a los productores. Dentro de este esquema un aspecto importante es la calidad de la biomasa. Hoy en día la mayoría de biomasa forestal se destina a los mercados para generar calor (astillas y pellets) o electricidad. Generalmente el sistema de compra-venta se realiza sobre una base en peso verde aunque las empresas energéticas preferirían biomasa sobre una base de peso en seco. El sistema que predomina no representa con precisión el valor de la biomasa cuando se utiliza

para la producción de energía (kWh = kilovatio-hora, MWh = megavatio-hora o GJ = Giga Julios). Sin embargo, el precio de la biomasa debería depender de su poder calorífico, o lo que es lo mismo de la cantidad de energía que se puede obtener cuando se utiliza. Algunos países como Canada, han desarrollado herramientas logísticas (FPInnovations) que permiten comprar energía y no simplemente biomasa e incluyen además aplicaciones como FPJoule, que suministra información de la cantidad de energía que se está adquiriendo empleando biomasa como fuente de energía renovable (KOSTIUK & PTAFF, 1997).

Al margen de la biomasa y dada la complejidad de los campos de investigación abiertos en torno a los bioproductos forestales, eligiéremos para ilustrar su potencial un tipo de compuestos con potencial en nuestros recursos forestales. Los taninos uno de los constituyentes de la madera y otras biomásas lignocelulósicas presentan un futuro esperanzador. Sorprendentemente, varios polifenoles muestran excelente actividad antimicrobiana, anti-oxidante y propiedades quelantes de metales, así como propiedades inhibitorias de la corrosión. Debido a sus propiedades, hoy en día a partir de los taninos se están desarrollando productos químicos funcionales utilizados como medicamentos, cosmética, aditivos alimentarios, productos industriales de polímeros (plásticos, adhesivos, recubrimientos, materiales compuestos de fibra), biocidas o inhibidores de corrosión.

El uso de los bioproductos en el sector cosmético y de nutracéuticos ha ido aumentando con multitud de nuevos productos como los descritos por HENRY *et al.* (2005) que patentaron unos extractos obtenidos de hoja de castaño que son empleados como base para varios productos cosméticos. En el sector de antioxidantes podemos citar como ejemplo los trabajos de WOOD *et al.* (2002), que patentaron la actividad antioxidante de extractos de *P. radiata* y *P. pinaster* y el producto comercializado como Enzogenol, consistente en una mezcla potente de antioxidantes naturales y compuestos anti-inflamatorios conocidos como bioflavonoides obtenidos de *Pinus radiata*. Este producto se obtiene con un sistema patentado por ENZO Nutraceuticals Ltd en diversos países (i.e. US 5.968.517), y ha demostrado en ensayos clínicos un efecto positivo sobre la actividad cerebral, mejorando la circulación y presión

arterial (SHAND *et al.*, 2003) y la recuperación tras un ejercicio intenso. Desde un punto de vista químico, los taninos son compuestos polifenólicos capaces de formar un quelato con el hierro, así como muchos otros metales (APPENDINO *et al.*, 2002, ROSA *et al.*, 2003). Gracias a estas propiedades pueden ser empleados en pinturas anticorrosivas y presentan un gran potencial para la protección contra la corrosión en los sistemas de refrigeración de las acerías (QURAIISHI *et al.*, 1999; RAJENDRAN *et al.*, 2005; HASLAM, 2007).

NANOTECNOLOGÍA EN LA MADERA

La nanotecnología se está convirtiendo rápidamente en la revolución industrial del siglo XXI. Para cada área en la que podemos imaginar un impacto, habrá otros que nadie ha pensado -nuevas capacidades, nuevos productos y nuevos mercados- y la madera no es ajena a este fenómeno. Como elemento común a todos sus campos de actividad, las nanopartículas presentan un tamaño muy pequeño, donde la presencia de ciertas fuerzas como Van der Waals (fuerzas atractivas que no resultan de la presencia de cargas iónicas), las magnéticas, etc. juegan un papel más importante que las fuerzas gravitatorias o la propia inercia. Otra característica importante de las nanopartículas es su elevada superficie en relación al volumen. Además las nanopartículas mejoran generalmente muchas propiedades como resistencia al calor, reducción de peso y opacidad.

El uso de la nanotecnología supone una gran innovación en el desarrollo de los recubrimientos para madera, especialmente en relación con la absorción y penetración de ultravioleta. La industria de los recubrimientos ha sido es uno de las primeras en aprovechar el potencial de nanotecnología. La apariencia y la utilidad de las nanopartículas conllevan muchas ventajas y oportunidades para la industria de pinturas y recubrimientos. La adición de las nanopartículas a recubrimientos pueden mejorar muchas propiedades y puede producir recubrimientos multifuncionales con unas diferencias de coste muy pequeñas. Estos revestimientos se pueden conformar en monocapas auto-ensambladas, gracias a lo cual presentan propiedades como resistencia a los arañazos, superficies autolimpiables (anti-

graffiti) o recubrimientos resistentes a la corrosión. Además, incorporan una mayor fuerza y la flexibilidad junto con un excelente brillo y transparencia lo que aumenta su eficacia. Muchas de las nanopartículas empleadas para desarrollar estos productos, como nano-ZnO no son tóxicas en la naturaleza y por lo tanto agregan una ventaja adicional en la industria de los recubrimientos para madera. Los nano-recubrimientos se pueden aplicar de muchas maneras, vía física, química o electroquímica. La metodología disponible incluye métodos sol-gel, electro-chispa y láser. A continuación se indican las ventajas en mejora de prestaciones:

Resistencia a la abrasión. En los recubrimientos clásicos la resistencia puede ser mejorada mediante la adición de compuestos de base inorgánica, pero provocan una apariencia mate o semi-mate por dispersión de la luz. Sin embargo, el uso de nanopartículas puede reducir de manera significativa la dispersión de la luz. Para esta finalidad se emplean partículas de entre 40 y 60 nm. Las nanopartículas tales como ZrO_2 , $AlOOH$ y SiO_2 pueden ser introducidas por UV lo que resulta en una mejora de resistencia a la abrasión y al rayado.

Resistencia a ultravioleta. La degradación fotoquímica causada por los rayos UV es normalmente un problema en la degradación de la mayor parte de los sistemas de recubrimiento. Esta degradación se produce por oxidación y descomposición de los polímeros y de los pigmentos inorgánicos u orgánicos empleados en los recubrimientos. Además los estabilizadores de UV orgánicos también sufren un deterioro después de un cierto tiempo. El uso de nanopartículas como óxido de titanio u óxido de zinc puede mejorar las propiedades de resistencia a UV, ya que la incorporación de estos compuestos no sólo absorbe, sino que también refleja los rayos solares.

Mejora de comportamiento hidrofóbico. El uso de nanotecnologías puede convertir una superficie en hidrofóbica y repelente de aceites. Estas propiedades se están explorando debido a que genera propiedades autolimpiantes.

Retardantes del fuego. La mayor parte de los recubrimientos nanotecnológicos incorporan hidróxidos de doble capa (LDH) o de tipo hidrotalcita. Los LDH mejoran la resistencia al fuego y afecta a la propiedades de recubrimiento como

retardante de la llama. Estos recubrimientos cuando se queman absorben el calor, liberando agua y dióxido de carbono reduciendo por tanto la temperatura del sustrato y la combustibilidad.

Nanobiocidas. Solos o en combinación con biocidas existentes, los nanometales pueden proveer las bases de la próxima generación de productos de protección de la madera. Hasta la fecha existe poca información sobre la eficacia de preparaciones nanometálicas como biocidas. Algunos resultados recientes indican que iones plata muestran un amplio espectro de actividad microbiana contra bacterias, levaduras y hongos (DORAU *et al.*, 2004). Otros ensayos realizados con partículas nanometálicas de cobre o zinc demostraron una adecuada protección contra termitas (GREEN & ARANGO, 2007). El empleo de este tipo de formulaciones ha sido utilizado recientemente como alternativa al tratamiento en autoclave con sales de cobre. Estos productos ya comerciales presentan como ventajas alta dispersión y estabilidad, lo que facilita una aplicación más uniforme. Además no son volátiles ni degradables con el tiempo, presentan menos olor y son más eficientes a largo plazo.

BIOTECNOLOGÍA

Existen muchos ejemplos del enorme potencial que presenta el uso de la biotecnología en el desarrollo de futuros productos con base madera. Sin duda el principal campo de actividad será el empleo de hongos en la producción de biocombustibles. La mayoría de las celulasas empleadas para la producción de biocombustibles se centran en el uso de insectos o especies fúngicas (SEIBOTH *et al.*, 2011) que trabajan a temperaturas de 20-35°C. En la actualidad recientes descubrimientos realizados con hongos termófilos (*Thielavia terrestris* y *Myceliophthora thermophila*) abren la puerta a mejorar la eficiencia en la producción de biocombustibles a partir de biomasa.

Otro ejemplo innovador es la aplicación de hongos como método biotecnológico para modificar las propiedades acústicas de la madera. Esta innovación pone al alcance una calidad de sonido similar a la que presentan violines “Stradivarius”, instrumentos muy caros y en muchas ocasiones inalcanzables. Francis Schwarze, del EMPA

(Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology) empleó diversos hongos que atacan la madera alterando entre otras sus propiedades acústicas. Los violines fueron contruidos por Antonio Stradivari (Stradivarius) con una madera de baja densidad, con una velocidad acústica alta y elevados módulos de elasticidad. Esta madera creció bajo condiciones muy frías (debido a existencia de largos inviernos y veranos fríos) en el período comprendido entre 1645 y 1715. Estudios paleo-dendrocronológicos han demostrado que esas condiciones generaron madera con unas características que le confieren la particularidad que presentan estos instrumentos. La exposición controlada de madera nueva de *Picea abies* y *Ficus sycomorus* a los hongos *Physisporinus vitreus* y *Xylaria longipes* degrada la madera hasta conseguir reproducir las características que presentaba la madera de estas especies hace más de 350 años.

A la vista de los vertiginosos cambios actuales, muchos de los mercados maduros que existen en el sector forestal verán cómo se produce una fuerte reestructuración a través del desarrollo y aplicación de procesos innovadores, lo que generará la aparición de nuevos productos y modelos de negocio. Es responsabilidad de todos los agentes implicados facilitar la creación de sinergias entre gobiernos autonómicos, central, el mundo académico y la industria. Este planteamiento debería facilitar la creación de redes especializadas centradas en desarrollo de nuevos procesos y productos, con grupos de excelencia que actúen conjuntamente como un centro único de I+D+i y en el cual se puedan alinear habilidades, necesidades y soluciones para los diferentes sectores de la economía forestal nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- ALÍA, R. & MAJADA, J.; 2013. Chapter 4 Phenotyping for the future and the future of phenotyping. In: S. Lee & J. Woolliams (eds.), *Novel Tree Breeding*, Vs 2.0.
- APIOLAZA, L.A.; 2000. *Multiple trait improvement of radiata pine*. Massey University. Palmerston North.
- APIOLAZA, L.A. & GREAVES, B.L.; 2001. Why are most breeders not using economic bree-

- ding objectives?. In: *IUFRO Symposium Developing the Eucalypt for the Future*. Valdivia, Chile.
- APPENDINO, G.; BIANCHI, F.; MINASSI, A.; STERNER, O.; BALLERO, M. & GIBBONS, S.; 2002. Oligomeric acylphloroglucinols from myrtle (*Myrtus communis*). *J. Nat. Prod.* 65: 334-338.
- BADIEA, A.M. & MOHANA, K.N.; 2009. Corrosion Mechanism of Low-Carbon Steel in Industrial Water and Adsorption Thermodynamics in the Presence of Some Plant Extracts. *J. Mat. Eng. Performance* 18: 1264-1271.
- BERTAUD, F.; TAPIN-LINGUA, S.; PIZZI, A.; NAVARRETE, P. & PETIT-CONIL, M.; 2012. Development of green adhesives for fibreboard manufacturing, using tannins and lignin from pulp mill residues. *Cellulose Chem. Technol.* 46(7-8): 449-455.
- BURDON, R.D.; BANNISTER, M.H. & LOW, C.B.; 1992. Genetic survey of *Pinus radiata*. 5: between-trait and age-age correlations for growth rate, morphology, and disease resistance. *New Zeal. J. Forest Sci.* 22(2/3): 211-227.
- BURMESTER, A. 1973. Einfluß einer Wärme-Druck-Behandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. *Holz Roh-Werkstoff* 31: 237-243
- CLARK, D.; AURENHAMMER, P.; BARTLOMÉ, O. Y SPEAR, M.; 2012. *Innovative wood-based products*. UNECE/FAO Forest Products Annual Market Review 2011-2012.
- CRAMMOND, P.C. & WILCOX, M.E.; 1992. Tannin adhesives from pine bark. *Proc. Wash. St. Uni. Int. Particleboard/Comp. Materials Symp.* 26: 172-188.
- DORAU, B.; ARANGO, R.A. & GREEN, F.; 2004. An investigation into the potential of ionic silver as a wood preservative. In: *Proceedings from the Woodframe Housing Durability and Disaster Issues Conference*: 135-145. Forest Products Society. Las Vegas, Nevada.
- DUCHEZ, L. & GUYONNET, R.; 1998. Principles and applications of wood rectification. In: *World Conference on Timber Engineering*, 5. Proceedings Lausanne, 1 CD-ROM. Lausanne.
- EPMEIER, H.; WESTIN, M. & RAPP, A.; 2004. Differently modified wood: comparison of some selected properties. *Scan. J. For. Res.* 19(5): 31-37.
- FENGEL, D.; 1996. On the changes of the wood and its components within the temperature range up to 200 °C-Part III: Thermally and Mechanically Caused Structural Changes in Sprucewood. *HolzRoh-Werkst.* 24: 529-536.
- GREEN, F. & ARANGO, R.A.; 2007. *Wood protection by commercial silver formulations against Eastern subterranean termites*. International Research Group on Wood Protection. IRG/WP/ 07-xxxx.
- HASLAM, E.; 2007. Vegetable tannins - Lessons of a phytochemical lifetime. *Phytochemistry* 68: 2713.
- HENRY, F.; DANOUX, L. & PAULY, G.; 2005. *Cosmetic compositions containing an extract of leaves of the Castanea sativa plant and cosmetic treatments*. PCT No.: PCT/EP2005/001105 Patent.
- HOULE, D.; GOVINDARAJU, D.R. & OMHOLT, S.; 2010. Phenomics: the next challenge. *Nature Reviews Genetics* 11: 855-866.
- IFJU, G.; 1964. Tensile strength behavior as a function of cellulose in wood. *Forest Prod. J.* 14: 366-372.
- INOUE, M.; NORIMOTO, M.; TANAHASHI, M. & ROWELL, R.M.; 1993. Steam or heat fixation of compressed wood. *Wood Fiber Sci.* 25: 224-235.
- JOIŠČAK, T.; MAMONOVÁ, M.; BABIAK, M.; TEISCHINGER, A. & MÜLLER, U.; 2007. Effects of high temperature drying in nitrogen atmosphere on mechanical and colour properties of Norway spruce. *Holz Roh-Werkst.* 65: 285-291.
- KAMDEM, D.P.; PIZZI, A. & JERMANNAUD, A.; 2002. Durability of heat treated wood. *Holz Rohwerkst.* 60:1-6.
- KARTAL, S.N.; HWANG, W.J. & IMAMURA, Y.; 2008. Combined effect of boron compounds and heat treatments on wood properties: Chemical and strength properties of wood. *J. Mater. Process. Tech.* 198: 234-240.
- KIM, S. & MAINWARING, D.E.; 1996. Influence of viscosity modifying agents on *Pinus radiata* extract. *Holzforschung* 50: 42-48.
- KOSTIUK, A.P. & PFAFF, F.; 1997. *Facteurs de conversion à l'usage de l'industrie des produits forestiers de l'Est du Canada*. Publication Spéciale SP523F.

- KREIBICH, R.E. & HEMINGWAY, R.W.; 1987. Condensed tannin-sulphonate derivatives in cold-setting wood laminating adhesives. *For. Prod. J.* 37 (2): 43-46.
- KUMAR, S.; 2004. Genetic parameter estimates for wood stiffness, strength, internal checking, and resin bleeding for radiata pine. *Can. J. For. Res.* 34(12):2601-2610.
- LANDE, S.; WESTIN, M. & SCHNEIDER, M.; 2004. Properties of furfurylated Wood. *Scan. J. For. Res.* 19:22-30.
- LANDE, S.; EIKENES, M.; WESTIN, M. & SCHNEIDER, M.; 2008. Furfurylation of Wood: Chemistry; Properties and Commercialization. Development of Commercial Wood Preservatives. *ACS Symposium Series* 982: 337-355.
- LANDE, S.; HØIBØ, O. & LARNØY, E.; 2010. Variation in treatability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) by the chemical modification agent furfuryl alcohol dissolved in water. *Wood Science and Technology* 44: 105-118.
- LARSSON, P. & TILLMAN, A.M.; 1989. *Acetylation of lignocellulosic materials*. The International Research Group on Wood Preservation. Document no. IRG/WP/3516.
- MAES, M. & POL, B. 2012.; *Process for the acetylation of wood elements*. Patent EP 2531561 A1.
- MILITZ, H.; 2002. Heat Treatment Technologies in Europe: Scientific Background and Technological State-of-Art. In: *Proceedings of Conference on "Enhancing the durability of lumber and engineered wood products"*. Forest Products Society. Madison, USA.
- PIZZI, A.; 1994. Chapter 5, Tannin-based wood adhesives. In: *Advanced Wood Adhesives Technology*. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hong Kong.
- QURAIISHI, M.A.; FAROOQI, I.H. & SAINI, P.A.; 1999. *Natural compounds highly as corrosion inhibitors for cycled systems*. NACE International. Houston.
- RAJENDRAN, S.; SRI, V.G.; AROCKIASSEL, V.I. & AMALRAJ, A.J.; 2005. Corrosion inhibition by plant extracts - an overview. *Bulletin of Electrochemistry* 21: 367-377.
- ROSA, A.; DEIANA, M.; CASU, V.; CORONA, G.; APPENDINO, G.; BIANCHI, F.; BALLERO, M. & DESSI, MA.; 2003. Antioxidant activity of oligomeric acylphloroglucinols from *Myrtus communis* L. *Free Radical Research* 37: 1013-1029.
- RUYTER, H.P.; 1989. *European patent*. Appl. No. 89-203170.9
- SAILER, M.; RAPP, A.O. & LEITHOFF, H.; 2000. *Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment*. IRG/WP/00-40172, 16p.
- SCHNEIDER, M.H.; 2012. *Furan polymer impregnated wood, method for preparing the polymer and uses thereof*. US 8197948 B2.
- SEIBOTH, B.; IVANOVA, C. & SEIDL-SEIBOTH, V.; 2011. *Trichoderma reesei: A Fungal Enzyme Producer for Cellulosic Biofuels*. In: M. Aurelio & D.S. Bernardes (eds.), *Biofuel Production-Recent Developments and Prospects*.
- SHAND, B.; STREY, C.; SCOTT, R.; MORRISON, Z. & GIESEG, S.; 2003. Pilot study on the clinical effects of dietary supplementation with Enzogenol, a flavonoid extract of pine bark and vitamin C. *Phytother Res.* 17(5): 490-494.
- SHRIKHANDE, A.J.; 2000. Wine by-products with health benefits. *Food Research International* 33: 469-474.
- SYRJANEN, T.; OY, K.; JAMSA, S. & VIITANIEMI, P.; 2000. Heat treatment wood in Finland – state of the art. *Nordic Wood*: 1-12.
- VERNOIS, M.; 2001. Heat treatment of wood in France - State of the art. In: *Review on heat treatments of wood, Proceedings of the special seminar of COST Action E22*. Antibes, France.
- VEGA, A.; BAÑO, V.; MAJADA, J.; FDEZ-PARRADO, I. Y GUAITA, M.; 2011. Caracterización de la madera de *Castanea sativa* Mill. de procedencia española. In: *CIMAD II - 1º Congresso Ibero-LatinoAmericano da Madeira na Construção S28-T5-3*. Coimbra, Portugal.
- VEGA, A.; DIESTE, A.; GUAITA, M.; MAJADA, J. Y BAÑO, V.; 2012. Modelling of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. structural timber by a combination of non-destructive variables and visual grading parameters. *Eur. J. Wood Prod.* 70: 839-844.
- VERNOIS, M.; 2004. Menz Holz: une première unité industrielle de traitement oléothermique. *CTBA Info* 104: 25-27.
- VIITANIEMI, P. & JÄMSÄ, S.; 1996. *Modification of wood with heat treatment* (in Finnish); VTT Julkaisuja – publicationer Espoo 57. Technical Research Center of Finland.

- YAZAKI, Y.; 1985. Improved ultrafiltration of Extracts from *Pinus radiata* bark. *Holzfor-schung* 39: 79-83.
- YILDIZ, S.; GEZER, E.D. & YILDIZ, U.C.; 2006. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Build. Environ.* 41: 76–1766.
- YILGOR, N.; UNSAL, O. & KARTAL, S.N.; 2001. Physical, mechanical, and chemical properties of steamed beech wood. *Forest Prod. J.* 51: 89–93.
- WATT, M.S.; TURNER, J.A. & MASON, E.G.; 2000. Genetic influence on second-log branching in *Pinus radiata*. *New Zeal. J. Forest. Sci.* 30(3): 315-331.
- WESTH, A.; 2010. *Supercritical wood impregnation*. PhD Thesis Faculty of Life Sciences. University of Copenhagen.
- WESTIN, M.; 2008. *Furan polymer impregnated wood* (03-Jun-2008). US 7381473 Assignees: Kebony ASA.
- WOOD, J.E., SENTHILMOHAN, S.T. & PESKIN, A.V.; 2002. Antioxidant activity of procyanidin-containing plant extracts at different pHs. *Food Chemistry* (77): 155–161. WO 97 44407 Patent.