

# LA MADERA. ¿UNA ALTERNATIVA PARA PROTEGER EL MEDIOAMBIENTE?

ALBERTO CEDEÑO VALDIVIEZO

Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México, D.F.

Cedeño Valdiviezo, A. (2013). La madera. ¿Una alternativa para proteger el medioambiente? [Wood: An alternative to protect the environment?]. *Revista de Arquitectura*, 15, 111-119. doi: 10.14718/RevArq.2013.15.1.12



<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2013.15.1.12>

Ingeniero Arquitecto, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México D.F. Maestría en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Doctor en Urbanismo, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Posdoctorado en habitabilidad y protección del medioambiente, Universidad de Buenos Aires (UBA).

Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Coordinador de la Licenciatura en Arquitectura de la UAM Xochimilco, México.

Últimas publicaciones:

Torres, P., Castro, M. E., Cedeño, A., Ramírez, M. C., Romero, L., Lerín, M., Duarte-Yuriar, S. (2012). Environmental design with an interdisciplinary approach. Two case studies from Mexico. *Revista Interciencia, mensual y electrónica de Caracas, Venezuela*, 37 (4).

Torres, P., Castro, M. E., Cedeño, A. (2012). Sustentabilidad ambiental en un posgrado en diseño. Interdisciplinariedad e investigación. En *La investigación en diseño. Una visión desde los posgrados en México*. México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Cedeño, A., Irigoyen, J. (2011). El bambú en México. *arq.urb Revista electrónica de Arquitectura e Urbanismo*. São Paulo: Universidade São Judas Tadeu.

Torres, P., Castro, M. E., Cedeño, A. (2011). Diseño ambiental y producción de conocimiento interdisciplinario. *Revista Argumentos. Estudios críticos de la sociedad*. México: División de Ciencias Sociales y Humanidades de la UAM Xochimilco.

Cedeño, A. y Torres, P. (2011). Los sistemas complejos, la ecología y los asentamientos humanos. *Anuario de Posgrado de la División de Ciencias y Artes para el Diseño*, 8.

Cedeño, A. (2011). Aglomerantes, morteros y aplanados adecuados para proteger el medio ambiente. *Revista de Arquitectura*, 13, 100-110.

Cedeño, A. (2010). Materiales bioclimáticos. *Revista de Arquitectura*, 12, 106-117.

Cedeño, A. (2010). Hitos de la ciudad colonial de Buenos Aires. *Anuario de Posgrado de la División de Ciencias y Artes para el Diseño*, 7.

Cedeño, A., Castro, M. E., Romero, L., Torres, P., Lerín, M. (2010). Significaciones actuales de la conservación, rehabilitación, renovación y patrimonio urbano. *Memorias del XI Seminario-Taller Internacional de la red mexicana de ciudades hacia la sustentabilidad*. México: Colegio Mexiquense.

Investigaciones en proceso:

*Vulnerabilidad bioclimática y habitabilidad regional. Implicaciones de diseño ambiental para la planeación y políticas socioterritoriales en la Cuenca Alta del Río Lerma, Estado de México*. Proyecto financiado por Promep de la Secretaría de Educación Pública a través del Programa de Fortalecimiento de los Cuerpos Académicos.

alberto\_cede@yahoo.com.mx

## INTRODUCCIÓN

La temática de este artículo se inscribe en un proyecto de investigación titulado "Vulnerabilidad bioclimática y habitabilidad regional. Implicaciones de diseño ambiental para la planeación y políticas socioterritoriales en la Cuenca Alta del Río Lerma, estado de México", proyecto financiado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado de la Secretaría de Educación Pública, a través del Programa de Fortalecimiento de los Cuerpos Académicos. En esta cuenca los problemas de deforestación son muy graves, especialmente en la Sierra de las Cruces, lo que nos ha llevado a buscar alternativas que puedan sustituir o administrar de mejor manera este material, además de continuar con nuestra investigación sobre materiales tradicionales que favorezcan el bioclimatismo, cuyo impulso permitiría un ahorro considerable de combustibles tradicionalmente usados para la calefacción, y evitaría que los árboles que aún quedan en la región sean talados.

La hipótesis de la cual se parte es que materiales de construcción que se utilizaron históricamente, que caracterizan a las viviendas vernáculas de la región, y que debido a las dinámicas de mercado fueron desplazados por aquellos materiales industrializados, en realidad son los mejores desde el punto de vista ambiental, por lo que las escuelas de arquitectura deberían hacer esfuerzos importantes por rescatar y promover su uso mediante su inclusión en los programas de estudio. La madera es uno de estos materiales; sin embargo, es importante plantear políticas que promuevan un aprovechamiento racional de este recurso y den un impulso importante a la reforestación. En este sentido, el papel que ha desempeñado el Consejo Nacional de la Madera en la Construcción (Comaco) en México en los últimos veinte años ha sido muy valioso para el país, aunque aún los logros han tenido poco impacto.

Sabemos que la situación actual de la madera en México y en varios países de América Latina es la de un recurso natural casi agotado debido a una explotación desmedida. En el caso específico de México, los aserraderos quedaron en manos de grupos de ejidatarios que no han contado con apoyo ni técnico ni económico para desarrollarlos. Países europeos y algunos otros como Estados Unidos, Canadá, y el caso de Chile en América Latina, han logrado establecer una buena

## RESUMEN

La madera es uno de los materiales con mejores cualidades térmicas; sin embargo, en nuestros países latinoamericanos escasea por el mal manejo que se ha hecho de este recurso. El objetivo de este artículo es exponer las ventajas ambientales de uno de los materiales más populares a nivel mundial. Se muestran sus propiedades físicas y térmicas, fenómenos de degradación y tratamientos de preservación. No obstante, ante estas importantes cualidades ambientales debemos ser cautos debido a la tala inmoderada que señala a México como uno de los países más despreocupados del mundo en este sentido, y nos obliga a contemplar otras alternativas como, por ejemplo, el bambú. Los textos de referencia son principalmente italianos —lo que nos permite tener el punto de vista europeo— y otros de restauradores mexicanos que han tenido una larga experiencia en el trabajo con la madera.

**PALABRAS CLAVE:** bambú, bioclimática, conservante para madera, construcción de madera, materiales por propiedades.

**WOOD: ¿AN ALTERNATIVE TO PROTECT THE ENVIRONMENT?**

## ABSTRACT

Wood is one of the materials with better thermal qualities, but in short supply in our Latin American countries by the mismanagement that has been made of this resource. The aim of this article is to present the environmental benefits of one of the most popular materials worldwide. Its physical and thermal properties, degradation phenomena and preservation treatments are shown. However, facing these important environmental qualities we must be cautious due to excessive felling that points out Mexico as one of the most carefree world countries in this regard, and it forces us to consider other alternatives such as bamboo. The reference texts are mainly Italian —allowing us to have a European viewpoint— and there are others by Mexican restaurateurs who have had a long experience working with wood.

**KEY WORDS:** Bamboo, bioclimatic, wood preservatives, wood construction, materials properties.

Recibido: enero 27/2013

Evaluado: agosto 29/2013

Aceptado: septiembre 13/2013



Figura 1. Zonas de mayor contaminación en el mundo según la OMS\*\*. Las zonas más oscuras son las de mayor contaminación. Fuente: <http://www.elmundo.es/elmundosalud/2011/09/26/noticias/1317036029.htm>

administración de este recurso, y podrán contar con este maravilloso material por muchos años más. Para el caso de nuestros países la pregunta que nos hacemos es: ¿aún debemos considerar el uso de la madera en la construcción, o de plano tenemos que pensar en otras alternativas?

#### MARCO TEÓRICO

Uno de los problemas más graves que provoca la fabricación de materiales de construcción es la contaminación del medioambiente (figura 1), ya que la quema de combustible para su producción es una de las mayores consumidoras de energía, incluso se afirma que la industria de la construcción absorbe la mayor parte de la energía que se produce, además de procesar la mayor cantidad de materias primas (González, s. f./b). Ante la crisis energética que atraviesa el mundo, y a partir del 2007, año en que James Lovelock publica *La venganza de la tierra*, en México hemos venido sufriendo fuertes inundaciones que empeoran año tras año.

De acuerdo con el mapa de la figura 1, publicado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los países latinoamericanos se encuentran entre los más contaminantes, siendo aún más grave la situación en Perú, Bolivia y Venezuela. Ante esta situación advertida en el texto de Lovelock, los arquitectos deberíamos tener como meta impulsar el diseño bioambiental, para lo cual se propone:

1. La sustitución de fuentes de energía no renovables por fuentes renovables.
2. La elección de materiales con menor contenido energético, tanto en su fabricación como en su puesta en obra. Al respecto, de acuerdo con las tablas sobre el contenido energético de los materiales de construcción a la hora de ser fabricados, los metales son altos consumidores (el aluminio llega a 459.000 mj/m<sup>3</sup>), el concreto armado tiene un valor intermedio (4000 mj/m<sup>3</sup>), y los materiales naturales como la tierra cruda, la madera o el bambú, valores bajos (Cedeño, 2010).

3. La elaboración de formas, tipologías edilicias y elementos constructivos que requieran menos energía para su construcción y acondicionamiento (Evans y De Schiller, 1991, p. 10).

Sobre el punto dos tenemos que el aumento en el consumo de la madera y sus productos derivados en los países más industrializados, en particular para el uso estructural en la construcción, se debe principalmente a los siguientes factores:

1. Hoy se conocen mejor las características específicas de la madera y, por tanto, cómo utilizarla mucho más eficientemente que en el pasado.
2. La madera tiene una posición más privilegiada en relación con materiales alternativos industrializados, posición que la gestión sostenible para la planificación de los recursos le ha permitido asumir (Zanuttini, 2003, p. 1).
3. El mejoramiento en los preservadores permite considerar usos de la madera que antes no se contemplaban.

Como material de construcción, y en relación con los metales, los polímeros sintéticos y los materiales de origen mineral (el vidrio, la cerámica, la piedra y la cal), la madera presenta las siguientes ventajas:

- Notable ligereza (densidad entre 100 y 1300 kg/m<sup>3</sup>) y, por tanto, óptima relación peso/rendimiento.
- Gran seguridad estructural con relación al fuego y a los sismos.
- Estructura porosa e impermeable, con gran higroscopicidad (que logra un mejoramiento de la calidad del aire en el inmueble).
- Gran durabilidad (si se utiliza adecuadamente, es resistente a los agentes que ocasionan la corrosión de los metales).
- Amplia variedad de colores, vetas, texturas y figuras decorativas que hacen la superficie de la madera estéticamente atractiva y siempre original (Zanuttini, 2003, p. 1).

Estas propiedades hacen de la madera un material muy interesante; sin embargo, deben ser confrontadas con el hecho de que este es un recurso renovable limitado, es decir, su reproducción toma varios años. Debido a que en nuestros países se lleva a cabo una tala inmoderada como consecuencia de la agricultura intensiva y la utilización de madera como combustible, se ha provocado su agotamiento en varias regiones. Infortunadamente, según informes de Greenpeace<sup>1</sup>, México es uno de los países más taladores del mundo.

<sup>1</sup> <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Bosques/La-deforestacion-y-sus-causeas>

Al respecto habría que señalar que la falta de apoyos técnicos y económicos para aquellos que se dedican a cultivar árboles es tal vez la mayor causa de la escasez. Existen aprobados apoyos de entre seis mil y ocho mil pesos por hectárea a quien se dedique a sembrar árboles; no obstante, pocas personas llegan a recibir este dinero.

En oposición, parece que en aquellos países en los que han existido prácticas culturales con planes ideales de gestión forestal, la madera todavía es un material abundante. Es más, se argumenta que la falta de tala ha provocado un envejecimiento del bosque y, por ende, una inestabilidad ecológica y menor funcionalidad, lo que aumenta el riesgo de incendio y agotamiento de las plantas. No obstante, en estos países se argumenta que los bosques bien administrados, en los que la tala no supera su incremento, permanecen como una fuente inagotable de recursos (Zanuttini, 2003, p. 1).

## METODOLOGÍA

Hemos investigado los problemas de vulnerabilidad más graves que se presentan en la cuenca alta del río Lerma, detectando las razones de los fuertes problemas de deforestación y las posibles soluciones, entre las cuales está el uso de materiales alternativos. Por otra parte, el estudio de la madera y de sus propiedades físicas y térmicas, sus defectos de origen, los fenómenos de degradación y los preservadores que actualmente se utilizan para su protección nos permiten tener un mejor panorama sobre las bondades de este material, y la búsqueda de posibles soluciones para una adecuada administración del mismo. También se revisó la vivienda vernácula para ver el uso tradicional que se hace de la madera, y las posibilidades que representa el bambú como un sustituto futuro.

## RESULTADOS

La utilización de la madera a lo largo de la historia del hombre, en los más variados campos y con una intensidad cada vez mayor, es garantía del valor constructivo de este material (Peraza, 1984, p. 191). El uso de la madera y de las fibras vegetales ha sido siempre esencial en los procesos constructivos. A decir de Roberto Meli: "Junto con la piedra, la madera es el material más empleado desde la más remota antigüedad" (1998, p. 39). En todas las construcciones realizadas hasta los inicios del siglo XX, el empleo de la madera había resuelto de manera simple y económica algunos de los problemas constructivos esenciales, en particular la realización de divisiones internas y de cubiertas (Di Battista, 1989, p. 314). "Su disponibilidad, su bajo peso y su buena resistencia a esfuerzos de tensión la hicieron atractiva, particularmente como elemento estructural para techos y muros" (Meli, 1998, p. 39), y también en la realización de variados ele-

mentos de acabado exterior como cerramientos, balcones, protecciones, así como de interiores: pisos, escaleras, divisiones, cerramientos internos, protecciones y muebles fijos.

En México, junto con la piedra, la cal y los agregados pétreos, la madera había sido uno de los materiales constantes en la edificación de la época virreinal y en la independencia, pero en el siglo XIX empieza a ser sustituida por nuevos materiales y sistemas constructivos más fácilmente controlables desde el punto de vista del proceso de producción, como el hierro y el concreto armado (Prado, 2000, p. 149), y de características más uniformes a pesar de que este material aún sea ampliamente utilizado para residencias unifamiliares en países como Estados Unidos (Di Battista, 1989, p. 314). En el caso de algunos países latinoamericanos, a pesar de las sustituciones descritas, la tala excesiva y la mala administración del recurso han llevado a una mayor escasez de este material y ha obligado a volver la vista a otros alternativos como el bambú. Este material, de gran tradición en Colombia (Castro, Cedeño, Lerín, Romero, Torres, 2009), en México aún se encuentra en un proceso de aceptación a pesar de importantes esfuerzos que han hecho empresas como Bambever, sitios como Bambumex y el gobierno del estado de Puebla; existe la materia prima pero falta conocimiento técnico sobre la misma. Hasta ahora los esfuerzos principales se centran en su utilización para fabricación de papel, especialmente de la variedad *Bambusa vulgaris* (Cedeño e Irigoyen, 2011, pp. 234-235).

En un edificio antiguo, la sustitución de una estructura original de madera por otra de acero o de concreto puede ser peligrosa, pues debe tomarse en cuenta la favorable relación entre resistencia/peso, mucho más favorable que la de estos dos últimos materiales (Peraza, 1984, p. 191). Sin embargo, una de las debilidades que la madera ha presentado históricamente en estructuras de grandes proporciones ha sido al realizar uniones, sobre todo en los elementos que deben transmitir esfuerzos de tensión. En diferentes épocas y lugares se han desarrollado soluciones, pero casi siempre estas uniones han representado puntos de debilidad (Meli, 1989, p. 39). Otro problema ha sido la limitación en el tamaño de los claros que se pueden lograr, aunque la madera laminada ha venido a resolver este problema, consiguiendo claros espectaculares gracias al desarrollo de adhesivos o pegamentos de gran capacidad.

Así, reiteramos que en la actualidad existen dos tendencias en la utilización de la madera. Una que se presenta en Estados Unidos, Canadá y los países europeos, en la que se ha logrado establecer un equilibrio entre las existencias y el uso adecuado; esto ha permitido reevaluar el uso de muchos derivados de la madera como elementos laminares o aglomerados de viruta.

La otra tendencia que nos interesa destacar es la de los países en vías de desarrollo, donde el uso indiscriminado de este material, aunado a la falta de políticas normativas o a su mala aplicación, olvidándose además que la madera es un material no renovable o renovable a largo plazo, ha ocasionado la progresiva deforestación de grandes áreas de selvas y bosques cada año, con las consecuencias lógicas que esto ocasiona a nuestro hábitat. En México, la existencia del ejido, que son parcelas de tierra distribuidas entre los campesinos después de la Revolución mexicana, ha impedido destinar grandes superficies a la reforestación, además de que los campesinos no han recibido suficientes apoyos técnicos y económicos por parte del Estado que permitan el surgimiento de una verdadera industria de la madera.

Habría que resaltar en América Latina el caso de Chile, que en los últimos 40 años ha tenido una buena administración de sus bosques, lo que permite en la actualidad que empresas como Masisa S.A. se posicionen cada vez más en los mercados locales dedicados a la venta de la madera<sup>2</sup>.

Entre las maderas más usadas en México están las que pertenecen a la división de las *gimnospermas* (coníferas), se les conoce comúnmente como "maderas blandas"; estas provienen de árboles de crecimiento rápido que producen una madera densa. A este grupo pertenecen el pino, el oyamel, el cedro blanco y el cedro rojo. Las maderas que pertenecen a la división de las *angiospermas* (latifoliadas) son conocidas como "maderas duras"; las proporcionan árboles de crecimiento lento, corpulentos, de madera compacta y resistente, generalmente son de hoja caduca. Entre la variedad de árboles que se encuentran en esta clasificación podemos mencionar las siguientes: encino, fresno, olmo y sabino (González, Hueytlet, Pérez, Ramos, Salazar, s/f, p. 59).

En la vivienda vernácula de México la madera ha jugado un papel muy importante. La de Michoacán se caracteriza por tener techos y balcones de madera (López, 1987, p. 92), esto sin referirnos a la vivienda de la sierra purépecha, la llamada *troje*, construida totalmente en este material.

En la del estado de México las techumbres a dos aguas tienen estructura de madera, así como el tapanco y el zincolote o guardagranos (Torres, 2009, pp. 103, 109). De ahí la importancia de seguir considerando este material como necesario.

### PROPIEDADES

#### Físicas

Es un material de origen orgánico constituido por componentes fundamentales (como los carbohidratos estructurales): celulosa, hemicelulosa y lignina; en menor cantidad están presentes las pectinas que cementan las células vegetales, las resinas, las sales minerales, las gomas, las ceras, las sustancias colorantes, las grasas y el tanino.

La madera es una estructura tubular en la que sus ejes siguen la dirección del eje del árbol en porcentaje mayor, y en porcentaje mucho menor, perpendicular al mismo. Cada uno de estos tiene su pared constituida por dos sustancias principales: la lignina, sustancia amorfa y resistente a la compresión; la celulosa, material de gran resistencia a la tracción, que arma la lignina, embebida en la misma y enrollada helicoidalmente de forma alternativa en la pared del tubo, a modo de zunchos; la hemicelulosa colabora con la lignina en el trabajo de compresión. La celulosa y la hemicelulosa son materiales fuertemente higroscópicos, no así la lignina (Peraza, 1984, pp. 192, 193, 197).

#### Térmicas

La conductividad térmica de la madera fluctúa entre 0,14 W/m<sup>2</sup> °C (Barcelo Pérez, clase 31) a 0,10 W/m<sup>2</sup> °C (Deffis, 1999, p. 140), lo que la hace un material excelente para evitar la pérdida de temperatura del interior al exterior de una construcción o viceversa (tabla 1). No debemos olvidar que para cumplir con las exigencias de la norma existente en todas las zonas bioambientales esta debe ser igual a un máximo de K = 0,95 W/m<sup>2</sup> °C (Evans-De Schiller, 1991, p. 106).

El calor específico es de 0,65 a 0,67 Kcal/kg °C para el pino y el abeto blanco, y de 0,57 para el roble blanco. La densidad es de 432 kg/m<sup>3</sup> para

Tabla 1. Propiedades térmicas de la madera

Conductividad térmica	Calor específico	Densidad	Capacidad calorífica	Retraso térmico espesor en m		
0,14 a 0,10 W/m <sup>2</sup> °C	0,65 a 0,67 Kcal/kg °C pino y abeto blanco	432 kg/m <sup>3</sup> pino y abeto blanco	282 Kcal/m <sup>3</sup> °C pino	0,05	0,10	0,15
				2,5 horas	5,5 horas	8,3 horas
	0,57 Kcal/Kg °C roble blanco	752 kg/m <sup>3</sup> roble blanco	290 Kcal/m <sup>3</sup> °C abeto			
			429 Kcal/m <sup>3</sup> °C roble blanco			

<sup>2</sup> <http://www.diariodefusiones.com/?page=ampliada&id=521>

el pino y el abeto blanco, y de hasta 752 para el roble blanco (Reif, 1983, p. 171; González, 2003, p. 4). Por tanto, la capacidad calorífica fluctúa entre 282, 290 y 429 Kcal/m<sup>3</sup> °C, para el pino, el abeto y el roble blanco respectivamente, valores intermedios entre los del agua y el aire, que se encuentran en los extremos (Reif, 1983, p. 171).

Con relación al retraso térmico tenemos que este, en forma óptima, produce un leve refrescamiento con una reducida disminución en la temperatura del interior cuando la exterior alcanza su límite máximo. También puede producir un leve calentamiento del interior cuando las temperaturas exteriores llegan a sus niveles mínimos. Existe una diferencia en tiempo entre los picos de temperatura exterior o interior. La madera y la lana mineral presentan valores muy altos de retraso o retardo térmico; sin embargo, estos regularmente no permiten espesores muy gruesos. En el caso de la madera es difícil encontrar espesores de 15 cm o mayores, con los que la madera alcanzaría un retardo térmico de 8,3 horas (Olgay, en Evans y De Schiller, 1991, p. 112).

#### FENÓMENOS DE DEGRADACIÓN

Aunque parecería tratarse de aspectos no tan importantes relacionados con la temática abordada, es decir la madera, debemos recordar que nuestros países son ricos en patrimonio histórico y edificado, y que uno de los materiales principales con los que se construyó este patrimonio fue la madera, de ahí la importancia de ocuparnos en las formas como este material se deteriora y cómo puede ser preservado. Además, el poder preservar hoy adecuadamente la madera, sin los riesgos de sustancias cancerígenas como el pentaclorofenol, le da amplias posibilidades de uso como son los roof gardens y terrazas, muy de acuerdo con las posibilidades de reutilización de las aguas lluvia para consumo humano, una de las metas que se propone la sustentabilidad ambiental.

#### Ataques de naturaleza física

La madera, a diferencia de otros materiales de construcción, no sufre degradación derivada de acciones de naturaleza física, por ejemplo, variaciones térmicas como el calor o el hielo no influyen en su duración o resistencia; además, parece que no es atacada por factores contaminantes. Sufre, en cambio, el ataque frecuente de insectos, hongos y bacterias, especialmente cuando es empleada en ambientes favorables al crecimiento y desarrollo de estos (en el caso de hongos y bacterias son los ambientes húmedos) (Di Battista, 1989, p. 321). La madera, por su propia constitución y por los elementos que contiene, es fuente de alimentación de distintos organismos y, por consiguiente, la atacan (Peraza, 1984, p. 202). De los agentes físicos que pueden degradar la madera los más importantes son: el agua y la humedad, la luz, el desgaste, el fuego y la contaminación.

El agua en forma de lluvia es un vehículo de ácidos, como el sulfuroso y el sulfúrico, que penetran en la madera y atacan la celulosa de sus fibras. La degradación producida por la luz ultravioleta se origina al absorberse la energía luminosa, pues se generan reacciones internas que modifican la química de la celulosa (Prado, 2000, p. 153). La humedad atmosférica, al ser retenida por la madera en los fenómenos de absorción, y ser devuelta a la atmósfera, produce hinchazón y merma, que a su vez pueden producir grietas; estas disminuyen las características mecánicas de la madera y se convierten en vías de penetración de hongos y de insectos. La degradación producida por la luz, radiación solar, empieza generalmente en la lignina. Cuando esta no actúa simultáneamente con la lluvia, el ataque se traduce en un oscurecimiento pronunciado; si actúa simultáneamente con la lluvia, los productos de degradación son eliminados por el agua y la madera adquiere tonalidades oscuras. El desgaste está íntimamente relacionado con la dureza de la madera, por lo



Figura 2. Larva y adulto del capricornio de las casas, carcoma grande o *Hylotrupes bajulus*. Fotografía reproducida de Giordano (1964) en Di Battista (1989).



Figura 3. Madera atacada por el carcoma grande o capricornio de las casas. Fotografía reproducida de Di Battista (1989).



Figura 4. Elemento de madera atacado por termitas. Fotografía reproducida de Giordano (1964) en Di Battista (1989).

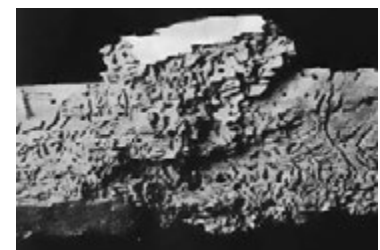


Figura 5. Abeto atacado por termitas. Fotografía reproducida de Giordano (1964) en Di Battista (1989).

que hay que reforzarla con impregnación de resinas o recubrimientos de barnices a base de resinas sintéticas. En relación con el fuego, siendo la madera un material combustible su resistencia estructural a este elemento es mejor que la del acero o el concreto, y lo que interesa en la construcción principalmente es esa resistencia estructural al fuego (Peraza, 1984, pp. 209, 210), por tanto, su uso es recomendable.

### Ataques de naturaleza biológica

Son numerosos los insectos xilófagos que pueden atacar la madera en la obra. La naturaleza de este artículo no nos permite detenernos mucho en el estudio de estos insectos, así que solamente los mencionaremos: carcoma grande o capricornio de las casas (*Hylotrupes bajulus*) (figura 2); el *Hesperophanes cinereus*, que está menos difundido que el carcoma o capricornio (figura 3), el cual genera una larva de dimensiones más pequeñas; las termitas (*Reticulitermes lucifugus* e *Calotermes flavicollis*) (figuras 4 y 5); las hormigas de la madera (*Camponotus herculeanus*, *Crematogaster scutellaris*, *Lasius fuliginosus*, *Ligni perda*); las avispas de la madera (*Sirex gigas* y *Xeris spectrum*); el cerambicido del encino (*Cerambyx cerdo*); la polilla de los muebles (*Anobius punctatum* y *Anobius pertinax*) (Peraza, 1984, pp. 207, 208; Di Battista, 1989, p. 321).

Un control mediante auscultación nos puede advertir de un ataque que se esté llevando a cabo. Para valorar la difusión y localizar perforaciones bajo la superficie (capricornio o termitas) es necesario examinar la pieza de madera con golpes de percusión. Si las perforaciones están extendidas y

son superficiales, el diafragma exterior de la madera cede al golpe y se rompe la parte erosionada. Si lo anterior no sucede, es conveniente poner atención al sonido producido por la percusión. Localizada la presencia de insectos o de perforaciones hay que examinar la parte atacada. Esta operación podemos realizarla con una hachita ligera o con otras herramientas similares, y permite detectar el tipo de insecto que ha atacado la madera, y la gravedad de las perforaciones, esto es, la eficiencia de la sección todavía resistente. Será posible, por tanto, definir las terapias de desinfección, con insecticidas generalmente curativos y preventivos, que son solubles en agua o en solventes orgánicos (más impregnados), y pueden aplicarse con una brocha o con aspersión (preferentemente cuando la larva se transforma en ninfa o en insecto adulto); como refuerzo, la reintegración de la sección o la disminución de la carga y, en los casos más graves, la sustitución del elemento (Di Battista, 1989, p. 323).

Un caso especial es la eventual presencia de termitas; en estos eventos conviene aislar el termitero y destruir toda la colonia, rociar con fuertes insecticidas el terreno en su cercanía y eliminar totalmente el material atacado. La sustitución requiere de madera que haya recibido tratamiento antiséptico y procedimientos para su ubicación en la obra, que aislen perfectamente la madera del suelo.

Los hongos son vegetales inferiores, cuyo cuerpo vegetativo está constituido por filamentos llamados hifas; están desprovistos de clorofila y no poseen ni tallos, ni hojas ni frutos. La mayor parte de las especies de hongos atacan a la celulosa y a la lignina, a excepción de los mohos, por tal motivo estos no producen pérdidas significativas. Las condiciones para que se desarrollen los hongos son las siguientes (Peraza, 1984, p. 203):

- Disponibilidad de humedad en cantidades adecuadas.
- Disponibilidad de oxígeno.
- Una temperatura adecuada.
- Una madera de soporte.
- Una fuente de infección.

Todos los hongos xilófagos pertenecen a las especies superiores, en las que las hifas forman un tejido fibroso o membranoso. El conjunto de hifas, generalmente ramificadas, se denomina micelio. Este puede desarrollarse sobre la superficie de la parte atacada formando una masa algodonosa e incluso, en circunstancias favorables, una gruesa membrana; también crecen en el interior de la madera donde se desarrollan con menos intensidad, pasando de unas células a otras por las punteaduras existentes en ellas. Los hongos segregan enzimas que les permiten utilizar en su alimentación los componentes de la pared celular (Peraza, 1984, p. 204).

Figura 6.

Abeto atacado por la pudrición blanda

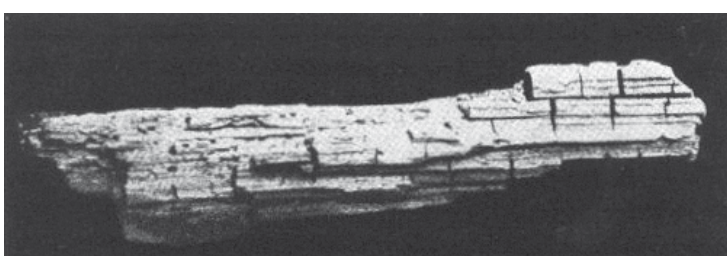
Fotografía reproducida de Giordano (1964) en Di Battista (1989).



Figura 7.

Madera de conífera con podredumbre oscura

Fotografía reproducida de Giordano (1964) en Di Battista (1989).



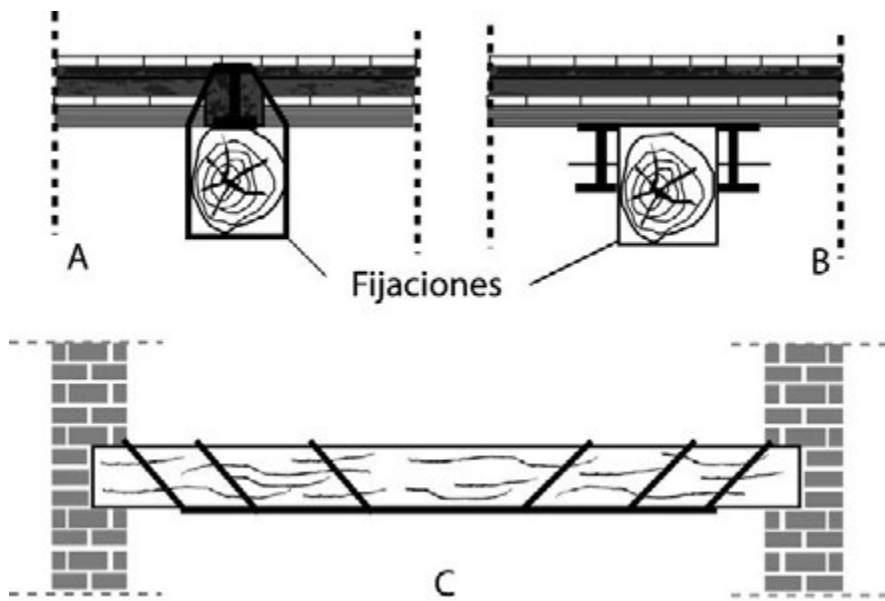


Figura 8. El uso de las resinas sintéticas permite mayor eficiencia en la inserción de piezas metálicas como prótesis de apoyo a las vigas de madera. Fuente: autor.

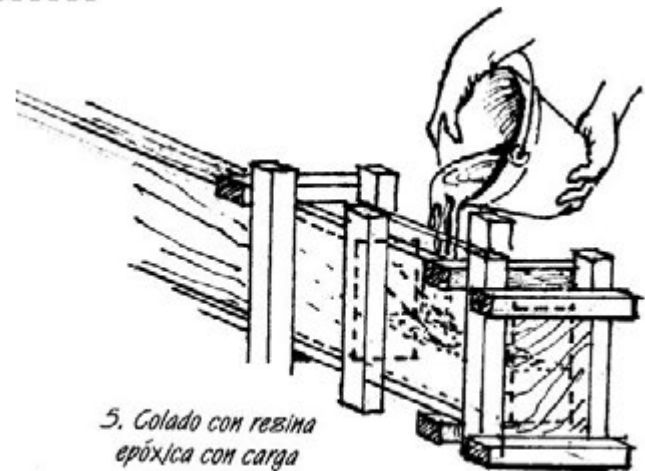
Los principales procesos de descomposición experimentados por la madera atacada por los hongos son la pudrición blanda (figura 6), la pudrición oscura (figura 7) y la pudrición blanca, así como la pudrición seca o carcoma cúbico, debida a un tipo de hongo en particular, el *Merulius lacrymans* (Di Battista, 1989, p. 324).

*Degradación debida a las bacterias.* Algunas especies de bacterias pueden ser agentes de degradación de la madera. Estas se distinguen por la parte de la madera que atacan (celulosa, hemicelulosa o lignina), y según su tipo de desarrollo (aeróbico o anaeróbico) (Di Battista, 1989, p. 325).

*Características de los ataques de microorganismos.* En general, los ataques de hongos dependen mucho del contenido de agua en la madera; parece que estos requieren una humedad igual o superior a 20%, y disminuyen notablemente hasta casi desaparecer con los valores de humedad que existen en las condiciones más comunes de empleo. Un caso particular de ataque es el de la madera sumergida en agua (por ejemplo, las estacas-pilotes de cimentación); también en este caso el ataque es de tipo biológico.

#### LA MADERA EN LA RESTAURACIÓN Y EN LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO EDIFICADO

Tanto en la rehabilitación del patrimonio edificado como en la restauración de edificios antiguos la madera juega un papel muy importante, no solo desde el punto de vista decorativo, sino en el estructural (Peraza, 1985, p. 217). La humedad es sin duda la causante de los mayores desequilibrios; sin embargo, la inflexión de las vigas puede ser causada por errores iniciales de cálculo o de realización, por los excesos de carga y el paso de los años. Las vigas desviadas deberán revisarse con sumo cuidado, especialmente las del centro y de los soportes, para ello será necesario remover la mampostería que estorbe, quitar las fibras degradadas y verificar la extensión real de la sección. Las grietas también deberán ser re-



sadas con cuidado, sin dar gran importancia a las fisuras verticales horizontales, lejanas de los soportes, y a las fisuras horizontales discontinuas intermedias; pero deberemos prestar especial atención a las fisuras verticales transversales, en el intradós, y a las horizontales próximas al plano neutro, en la zona de los soportes (Baglioni, Guarnerio, 1988, p. 75).

Actualmente, en las disciplinas conocidas como restauración y rehabilitación, existe una técnica que permite completar elementos de madera dañados que han perdido su capacidad mecánica original, por un nuevo material capaz de sustituir y restablecer las funciones perdidas, con resinas epoxy, conocida como *sistema beta* o *prótesis de madera* (Peraza, 1984, p. 217; Prado, 2000, p. 174).

Otra aplicación se debe al gran desarrollo de las resinas sintéticas que permiten la unión de piezas de madera con resistencias iguales o superiores a las de la propia madera (figura 8). Las resinas sintéticas de mayor aplicación en la industria de la madera son la urea-formaldehído, la melamina-formaldehído, el resorcinol-formaldehído, el fenol-formaldehído, el poliuretanos y el epoxy (figura 9). Así, entre los pegamentos más eficientes están los epóxicos; estos permiten que una técnica considerada casi tradicional: la inserción de piezas metálicas como prótesis de apoyo a las vigas de madera, pueda realizarse hoy día con una mejor eficiencia (Peraza, 1984, p. 217).

Figura 9. Para el sistema beta es fundamental el uso de resinas epoxy. Fuente: Prado (2000, p. 176).

### Protectores de madera

En México, las normas y especificaciones para restaurar tradicionalmente han recomendado el uso de una sustancia que conocemos como *pentaclorofenol* (Sedue, 1984, p. 43). Anteriormente se utilizaba el petróleo y posteriormente la creosota como sustancia protectora. En los últimos años, sin embargo, han sido muy cuestionados estos dos productos; en particular, la comercialización de la creosota ha sido prohibida por la Comunidad Europea tras probarse su potencial cancerígeno. La prohibición entró en vigor a partir del 30 de junio de 2003, y se extiende a maderas tratadas con este compuesto. Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica al pentaclorofenol como altamente peligroso.

Esto ha obligado a que en los últimos años se busquen nuevas alternativas en los protectores de madera. El naftenato de cobre tiene un alto poder fungicida en virtud del ácido nafténico presente; se emplea con alta concentración (20 o 25%) en la solución orgánica, ya que es muy volátil. Normalmente se aplica por pulverización de baja presión mediante un compresor; esto tiñe la madera de verde.

El protector de la madera a poro abierto, denominado en Europa como *lassures*, es el producto con más futuro en el tratamiento de la madera para exteriores. Se caracteriza por no formar película sobre la superficie y proteger de forma polivalente contra los diversos tipos de ataques que esta pueda sufrir; son productos de base orgánica, solubles o no al agua; la acción protectora insecticida y fungicida de estos es menor que los fondos protectores, pero incorporan pigmentos minerales (óxidos de hierro resistente a la fotodegradación) que reflejan la radiación UV del sol, responsable del agrietamiento y agrisamiento de la madera. Incorporan también una formulación de resinas alquídicas y acrílicas que repelen el agua de la superficie, y todo sin ocultar la belleza natural de la madera.

### Preservadores solubles en aceite

El pentaclorofenol es un eficaz fungicida e insecticida. Hace algún tiempo se vendía en escamas en cuñetes de 50 K, pero actualmente se controla su venta debido a su toxicidad; además, se expende en preparaciones ya diluidas como el Vidamadera o similares, que varían en cuanto a la concentración del producto. Se proponen fórmulas que diluyen el pentaclorofenol en diesel o tiner; también a las que se agrega aceite de linaza o cera de abeja. Si se diluye con diesel es muy difícil pintar o barnizar la madera por el residuo grasoso que deja este compuesto, así que solo queda tratarlas con cera de abeja derretida en tiner y aplicada con muñeca. Si se quiere barnizar

o pintar después de aplicar la fórmula, se debe sustituir el diesel por un solvente volátil como el tolueno o la gasolina blanca, eliminar la cera de la preparación y graduar mediante pruebas el aceite de linaza (Prado, 2000, pp. 157, 158).

### Preservadores solubles en agua

Tienen las ventajas de su fácil limpieza, permiten pintar fácilmente la madera y no producen olores. Los que se usan con mayor frecuencia son sales disueltas en agua, como las sales de cobre, cromo y arsénico (arseniato cromato cuproso-CCA). Para tratamientos de madera se emplean también otros compuestos de arseniato fijo como el arseniato cuproso amoniacal (ACA) o el cromato cuproso ácido (ACC). Los preservadores tipo CCA se aplican en planta con sistemas de vacío e inyección. Este tipo de preservación se hace en cámaras de vacío-presión en plantas industriales. El preservador es inyectado dentro de las células de la madera y se origina una reacción química que combina la sustancia inyectada con las fibras de madera, lo que da lugar a un compuesto insoluble que se fija durante el proceso de secado.

Los compuestos estanosos, como el producto llamado OZ de la casa Osmose, también contiene lindano, que es un insecticida. Este es muy práctico para ser aplicado en obra por aspersión, brocha o inmersión; es menos tóxico que el pentaclorofenol u otros preservadores; sin embargo, debe manejarse con cuidado (Prado, 2000, p. 159).

Existen otros fungicidas como el ácido bórico, el bórax (muy utilizados para el bambú), el carbonato, el carbonato de cobre y el fluoruro de sodio. El doctor Prado comenta que en México los insecticidas más utilizados contra los insectos xilófagos son el lindano, el clordano, el heptacloro, dieldrin y el busan 30. Se adquieren en polvo o en líquido emulsionable, y se diluyen en disolventes como las arominas (100 y 150), la bencina, el benzol, el toluol y el xilol. Se pueden utilizar preventivamente por inmersión, brocha o aspersión, pero cuando los insectos ya han hecho galerías, hay que usar la inyección o la inmersión (Prado, 2000, p. 160).

El *Foxtoxín 40* es un gas sumamente tóxico que puede emplearse para fumigar madera, para lo que es muy efectivo. Debe usarse con precaución y aplicarse por personal capacitado.

Ya existe otra versión del Vidamadera de pentaclorofenol S.A., llamado Vidamadera Plus Ecológico, soluble en agua y que en apariencia ya no contiene pentaclorofenol<sup>3</sup>.

3 www.50conpentaclorofenol.com.mx



## CONCLUSIONES

La belleza, maleabilidad, disponibilidad y cualidades estructurales de la madera la hicieron universalmente el material favorito para la construcción de cubiertas, y en algunas regiones donde abundó, incluso para la construcción completa de viviendas principalmente. Hoy en día nos cuestionamos sobre si podremos seguir disfrutando de estas cualidades o tendremos que buscar alternativas con otros materiales. La respuesta estará en que logremos administrar adecuadamente los bosques y las selvas. En México, el Consejo Nacional de la Madera en la Construcción organiza cursos, concursos de viviendas y otras actividades relacionadas con el desarrollo en el uso de este material, buscando con esto que se inicie su interés por explotarlo y, por tanto, por cultivarlo. Ha logrado tener la atención de varias instituciones gubernamentales mexicanas y la colaboración de instituciones como la Canadian Forest Service del Natural Resources Canada y el Forest Service del United States Department of Agriculture, USA. La labor de este grupo permite albergar la esperanza de un mejor futuro para la madera en nuestro país.

Alternativas como el bambú, y específicamente algunas especies de guaduas y bambusas, que se consideran como adecuadas para la construcción, y por sus cualidades medioambientales, se revelan como el material del siglo XXI. México está interesado en el uso de esta materia prima y ha establecido programas que fomentan su cultivo y utilización. Existen al menos cuatro centros de acopio y distribución de bambú para la construcción: en Hueytamalco y Cuetzalan en Puebla; Huatusco, perteneciente a Bambuver, en el estado de Veracruz; la empresa Agromond, S.A. que tienen su sede en Villahermosa, Tabasco. En estos lugares también se brinda apoyo técnico y asesoría.

Sin embargo, donde más ha crecido su uso es en la industria papelera, que hoy solo tiene como opción utilizar este material (específicamente la *bambusa vulgaris*), o reciclar el papel ya utilizado.

Creemos firmemente en las potencialidades de este nuevo material, pero la tradición en la utilización de la madera nos recuerda que no debemos olvidar su uso, y que el buen cuidado y administración de los recursos naturales permitirán en el futuro poder utilizar este material nuevamente de manera masiva.



## REFERENCIAS

- Baglioni, A. y Guarnerio, G. (1988). *La rehabilitación de edificios urbanos*. Tecnologías para la recuperación. Barcelona: Gustavo Gili.
- Barcelo Pérez, C. (2008). *Transmisión de calor en los edificios*. Unidades 1 y 2. Conceptos básicos de la transmisión de calor. Cepis/OPS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Disponible en: [www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase\\_/clase\\_.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase_/clase_.htm)
- González, A., Hueytletl, A., Pérez, B., Ramos, L., Salazar V. (s. f.). *Manual técnico de procedimientos para la rehabilitación de monumentos históricos en el Distrito Federal*. México: Departamento del Distrito Federal – Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Castro, M. E., Cedeño, A., Lerín, M., Romero, L. y Torres, P. (2009). *Diseño ambiental en la cuenca del Papaloapan*. México: MC Editores, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Cedeño, A. e Irigoyen, J. (2011). El bambú en México. *arq.urb Revista electrónica de Arquitectura e Urbanismo*. São Paulo, Universidade São Judas Tadeu.
- Cedeño, A. (2010). Materiales bioclimáticos. *Revista de Arquitectura*, 12.
- Cofán (1994). *Manual de construcción de estructuras ligeras de madera*. México D. F.: Comaco, Cofán.
- De Angelis, G. (1972). *Guida allo studio meto-dico dei monumenti e delle loro ncause di deterioramento*. Roma: Iccrom – Facultad de Arquitectura de la Universidad de Roma.
- Di Battista, V. (1989). Il degrado delle materie. 5. Elementi lignei. En G. Caterina (comp.), *Tecnología del Recupero Edilizio*. Turín: UTET.
- Evans, M. y de Schiller, S. (1991). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. Buenos Aires: Ediciones Previas núm 9, FADU, Universidad de Buenos Aires.
- Giordano, G. (1964). *La moderna tecnica delle costruzioni in legno*. Milano: Hoepli.
- González, D. (s. f.a). *Desarrollo sustentable y medioambiente construido*. Unidad 2. Medioambiente construido. Cepis/OPS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado de: [www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase12/clase12.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase12/clase12.htm)
- González, D. (s. f.b). *Desarrollo sustentable y medioambiente construido*. Unidad 6. Tecnologías de construcción. Cepis/OPS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado de: [www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase16/clase16.htm](http://www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase16/clase16.htm)
- Lahuerta, J. (1984). Rehabilitación de obras de fábrica. *Curso de rehabilitación 5. La estructura*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- López, J. (1984). Rehabilitación: concepción y metodología. *Curso de rehabilitación 2. El proyecto*. Madrid: Colegio de Arquitectos de Madrid.
- López, F. J. (1987). *Arquitectura vernácula en México*. México: Trillas.
- Lovelock, J. (2007). *La venganza de la Tierra*. Buenos Aires: Grupo Editorial Planeta.
- Macchioni, N. (2003). Anatomía e características del legno. En *Federlegno-Arredo. Il legno massiccio. Idee, materiali e tecniche per costruire in armonia con l'ambiente*. Milan: Federazione italiana delle industrie del legno, del sughero, el mobile e dell' arredamento.
- Meli, R. (1998). *Ingeniería estructural de los edificios históricos*. México: Fundación ICA.
- Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y clima*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Palanti, S. (2003). *Preservazione. En Federlegno-Arredo. Il legno massiccio. Idee, materiali e tecniche per costruire in armonia con l'ambiente*. Milan: Federazione italiana delle industrie del legno, del sughero, el mobile e dell' arredamento.
- Peraza, C. (1984). Estructuras de madera. *Curso de rehabilitación 5. La estructura*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- Prado, R. (2000). *Procedimientos de restauración y materiales*. México: Trillas.
- Reif, D. (1983). *Reconversión solar*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1984). *Especificaciones generales de restauración*. México: Sedue.
- Torres, G. (2009). *La arquitectura de la vivienda vernácula*. México: IPN-Colegio Vanguardista de Ingenieros Arquitectos.
- Zanuttini, R. (2003). *Filiera foresta-legno e valorizzazione energetica delle biomasse forestali Wood energy chain studies*. Recuperado de: <http://www.fortea.eu/file/filiera.pdf> Unterent. Ex nos verterfecta vilis, que nem fo111re co