



ANTOLINO GALLEGO MOLINA
Catedrático
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Granada

**DE LA LIRA VERDE DE GÓNGORA A LA
CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA CON
MADERA: UN PASEO POR LA INNOVACIÓN**

DISCURSO DE APERTURA
UNIVERSIDAD DE GRANADA
CURSO ACADÉMICO 2022 - 2023

**DISCURSO DE APERTURA
UNIVERSIDAD DE GRANADA
CURSO ACADÉMICO 2022 - 2023**

© ANTOLINO GALLEGO MOLINA
© UNIVERSIDAD DE GRANADA
CATEDRÁTICO
DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA
UNIVERSIDAD DE GRANADA
DISCURSO DE APERTURA
CURSO ACADÉMICO 2022 - 2023

Edita: **Secretaría General** · Universidad de Granada

Imprime: **dprint** - www.dprint.es

Depósito Legal: GR. 1052-2022

Printed in Spain · Impreso en España

ANTOLINO GALLEGO MOLINA
Catedrático
Departamento de Física Aplicada
Universidad de Granada

**De la lira verde de Góngora a la construcción
industrializada con madera: un paseo por la
innovación**

DISCURSO DE APERTURA
UNIVERSIDAD DE GRANADA
CURSO ACADÉMICO 2022 - 2023

Excma. Sra. Rectora Magnífica
Anteriores Rectores Magníficos
Excmas. e Ilmas. Autoridades
Querida Comunidad Universitaria
Sras. y Sres.

EL ÁLAMO, UN ÁRBOL MUY POÉTICO

Durante una de mis recientes indagaciones de hemeroteca, descubrí un artículo datado en 2005 de nuestro ilustre hispanista Ian Gibson, titulado ***“Chopos y/o álamos”***, acerca de la reiterada discusión sobre la diferencia entre álamo y chopo. El hispanista, refiriendo a nuestros queridos poetas andaluces D. Antonio Machado y D. Federico García Lorca, concluye, con acierto desde mi humilde punto de vista, la no distinción entre las dos palabras. Así mismo, Gibson acaba diciendo ***“no se concibe este país, de estíos tan sedientos y calurosos, sin la grata compañía a lo largo de caminos, ríos y arroyos, del árbol cantor por antonomasia”***, a lo que yo añadiría ***“no se concibe la Vega de Granada sin la presencia de las alamedas”***.

No obstante, lo que más me llamó la atención de este artículo de Gibson fue el hecho de que nuestro renombrado poeta cordobés del Siglo de Oro, Don Luís de Góngora y Argote, hacía referencia a este árbol como ***“lira verde”***, en evidente alusión

al sonido de sus hojas por la acción del viento. Mi curiosidad por la acústica y como no decirlo, mi compromiso como investigador en esta Academia, me llevaron a profundizar sobre este aspecto, teniendo la suerte de encontrar un trabajo de la investigadora mejicana Elísabeth San Juan titulado ***“Los poéticos álamos....Una lectura de la poesía de Luís de Góngora a través de las representaciones de los árboles”*** en el que la autora se hace la siguiente pregunta *“¿Por qué de las diferentes especies de árboles el poeta prefiere precisamente a los álamos?”*. Ya Robert Jammes, hispanista y profesor de la Universidad de Toulouse, especialista en la obra de Góngora, fue uno de los primeros estudiosos en señalar la presencia notable de los álamos en la poesía de Luis de Góngora, llegando a decir textualmente *“es evidente que Góngora manifiesta una neta inclinación por los álamos, cortinas de verdura agitadas por el viento y árboles consagrados a Hércules”*.



Figura 1: Izquierda: Chopera de la Vega de Granada (Propietario: D. Antonio Poyatos). Derecha: Hoja de álamo agitada por el viento en la Vega de Granada (Propietario: D. Segismundo Noguerras).

Es bien sabido que la cantidad de alusiones mitológicas es uno de los rasgos estilísticos más estudiados de la poesía gongorina. Todo indica a que la denominación de estos árboles fue impuesta por el naturalista griego Teofrasto, quien los citó con el nombre de *populus* en sus escritos, suponiéndose así que es una palabra derivada del griego *paipalleis*, cuyo significado es “agitar”. Sin embargo, algunos estudiosos de su etimología afirman que fue llamado *populus*, o árbol del pueblo, por haber sido empleado con asiduidad para la ornamentación de las plazas públicas de Grecia y Roma. Sin entrar en discusiones sobre el origen etimológico del término, análisis que en forma alguna corresponde a un humilde físico, no cabe duda del relevante papel que ha jugado el chopo en la historia de la humanidad. En los juegos funerarios de Rodas, el vencedor obtenía una corona de chopo. Al chopo se le denomina *álamo de Hércules* “*porque los sacerdotes de Hércules se coronaban con ramas de álamo*”. Igualmente se dice que éste, Hércules, “*al regresar de su viaje a los Infiernos, llevaba una corona de álamo*”. Ovidio en su *Metamorfosis* narra cómo Zeus conmovido por el llanto de las hermanas de Faetón, al ver caer las cenizas de su hermano al río, decide convertirlas en los álamos que rodean el Erídano, uno de los cinco ríos que cruzaban el Hades o el inframundo griego, que en la antigüedad se solía identificar con el Po o con el Ródano.



Figura 2: La metamorfosis en álamos de las hermanas de Faetón (Santi di Tito, Florencia, 1572).

Y volviendo a Góngora, permítanme la osadía de recitarles un fragmento de una de las letrillas satíricas más famosas de la literatura española.

*Busque muy en hora buena
El mercader nuevos soles;
Yo conchas y caracoles
Entre la menuda arena,
Escuchando a Filomena
Sobre el chopo de la fuente,
Y ríase la gente.*

En este fragmento quedan claros tres aspectos esenciales del chopo, a los que haré directa alusión a lo largo de mi intervención. En primer lugar, frente a la búsqueda de mercancías en tierras lejanas, el poeta pone de manifiesto la importancia de la mercancía cercana, de *las conchas* y de *los caracoles*, en lo que hoy denominamos *mercado de ki-*

lómetro cero. A su vez, *Filomena*, nombre antiguo dado al ruiseñor, muestra la clara conexión entre el chopo y la avifauna, el chopo y la biodiversidad. Donde hay chopos, hay pájaros. Por último, de la letrilla de Góngora es evidente que el matrimonio entre el chopo y el agua no pasa desapercibido por el autor, al situarlo cerca de la fuente.

Esta relación entre el chopo y Góngora también está reflejada en la conferencia que en 1926 impartió nuestro ilustre poeta de la Vega, D. Federico García Lorca, titulada, “***La imagen poética de Don Luis de Góngora***”. En la mente de todos está la estrecha relación entre Lorca y el chopo, presente en innumerables poemas, e incluso de forma clara y directa en su ensayo autobiográfico de la segunda década de siglo XX, en el que evoca a Fuente Vaqueros como “*aquel pueblecito muy callado y oloroso de la Vega de Granada, rodeado de chopos que se ríen, cantan y son palacios de pájaros. Al aproximarse hay gran olor de hinojos y apio silvestre que vive en las acequias besando el agua*”. De nuevo vuelve a aparecer el indisoluble matrimonio entre el chopo y el agua, que bien queda reflejado en la poesía “*Agua, ¿dónde vas?*”, inmortal obra del poeta granadino.

De que los profesores debemos tener el compromiso de transmitir los valores ambientales y culturales de los árboles, no debería quedar ninguna duda. *¡Quién va a demonizar un árbol!*, debería-

mos exclamar. La formación y conciencia medio ambiental, motivada hoy día más que nunca por una imparable **Revolución Verde** impulsada por el continuo crecimiento de la población y su casi exponencial aumento de necesidades de bienestar, deberían ser prioridad en todos los sistemas educativos, a la vez que compromiso ineludible de todos los ciudadanos y sectores de nuestra sociedad. En ese sentido, me alegra haber encontrado un sencillo y bello poema de la maestra y poeta infantil contemporánea Dña. Ana María Romero Yebra, titulado “*El chopo*”, y que si ustedes me lo vuelven a permitir paso a recitarles:

*El chopo, con largos dedos,
le hace cosquillas al cielo.
El cielo todo se ríe
y manda a la nube grande
que lo riegue y que lo cuide.
El chopo se estira y crece.
Brilla su cara lavada.
Relucen sus hojas verdes.
¡Qué hermoso estás, chopo mío!
-¡Pues verás cuando, en otoño,
me ponga el traje amarillo!*

Esta poesía me permite remarcar dos aspectos de enorme importancia. El primero es la estrecha relación de este árbol con el paisaje, el tiempo y el arraigo social y cultural hacia él, como indicador fiel de las estaciones climáticas en el territorio. *¿Qué pasaría si se perdieran las alamedas de*

nuestros valles? ¿Dónde tendríamos que poner nuestro punto de referencia visual y sentimental para disfrutar en cada momento de este bien intangible? Los seres vivos, sean humanos o no, tenemos unas referencias estacionales, una cita ineludible con el pasar de los meses, que de manera clara nos mantienen inexorablemente unidos a él y a nuestras emociones. Nada más que esto, debería justificar nuestro firme compromiso por mantener las alamedas.

El segundo aspecto que destacaría de esta poesía de Ana María Romero es “*el estiramiento del chopo*”. Este estiramiento no es otra cosa que un ensayo mecánico a tracción paralelo a la dirección del árbol, provocado por su propio crecimiento, en contra de las fuerzas de la gravedad y el viento. Vencer a estas dos fuerzas es la continua batalla diaria de los árboles, provocando que su bien tangible máspreciado, *la madera*, adquiera de manera natural y casi milagrosa, unas propiedades mecánicas excepcionales, marcadamente diferentes a las del resto de materiales de construcción. Una viga de madera en nuestras casas no es más que la prolongación de un árbol en nuestra morada, un ejemplar único en el mundo, con propiedades diferentes. No habrá otro ejemplar igual. De hecho, la imagen de un árbol esbelto nos recuerda a la de una construcción en altura, cuyo modelo estructural no es más que una ménsula empotrada en el terreno, sometido a la acción del viento, y cuya

resultante se sitúa a varios metros del suelo. Esta fuerza genera un momento flector que puede tener valores muy elevados. Para ser resistido, la madera tiene que generar internamente un par de fuerzas de tracción y compresión de la misma magnitud y sentido contrario. Esto explica la capacidad de la estructura molecular y disposición de las células de la madera para resistir indistintamente fuerzas de compresión y tracción en la dirección de su fibra y, por consiguiente, tener un excelente comportamiento a la flexión. Este hecho ha sido aprovechado desde siempre por el ser humano para usar los árboles como vigas, incluso para cubrir grandes luces.

LA MADERA, UNA HISTORIA DE ALTIBAJOS

Como todos sabemos, la madera ha sido siempre un material de construcción, y en particular un material estructural, destinado a resistir las cargas del edificio. Gracias a su abundancia en el medio natural, la madera fue el material que propició la primera gran revolución de la vivienda del ser humano, cuando este dejó de usar los refugios naturales. Desde entonces, con muchos altibajos, la madera ha ido acompañando al ser humano en la construcción de su morada. A ello, además de su indudable belleza, olor y evidente conexión con la naturaleza, han contribuido sus excelentes propiedades para ser mecanizada, su buena relación entre ligereza y resistencia y sus magníficas propiedades térmicas. Se tiene constancia de edificios de casas prehistóricas en madera de seis metros de altura en Japón. Además, aunque en edificios suntuosos la piedra, el mármol y el ladrillo eran los preferidos en las civilizaciones persa, egipcia, griega y romana, la madera era un material común en las viviendas residenciales.

Durante la edad media tuvo su expansión y utilización masiva el sistema estructural de entramado pesado de madera, basado en elementos lineales de grandes escuadrías. Tras la industrialización del siglo XIX, surge y toma auge el sistema estructural de entramado ligero con madera, formado por listones más finos y numerosos, nacido en Estados

Unidos, y que dio paso a un uso masivo del material, marcando así el inicio de la **construcción industrializada con madera y la prefabricación**.



Figura 3: Estructura de entramado ligero de madera durante el siglo XIX en Estados Unidos (Fuente:<https://www.hogarmadera.com/beautiful-lighting-effects/>).

No obstante, la historia ha sido un duro camino para el uso de la madera en construcción. Su escasez en ciertas zonas, su comportamiento ante la humedad, los agentes bióticos y el fuego, han sido sus caballos de batalla, aun presentes como mantra incansable en la mente de muchos profesionales y usuarios. Se tiene constancia de que en el siglo XV muchos prescriptores indicaban que su uso debía evitarse en aras a una mayor “*dignidad*” de las obras. En el siglo XVIII algunos autores criticaban abiertamente a la madera, cuestionando el posible ahorro frente a los problemas de conservación. Sin embargo, en esta época su mayor desconfianza estaba asociada al fuego, razón por la cual la madera llega al siglo XX como un material totalmente desacreditado. Bien conocidos son los incendios de Londres (1666) y de Chicago (1871).

La llegada de la **Revolución Industrial** modifica también la forma de construir, dando entrada al acero y al hormigón. Gracias a sus características homogéneas y a sus excepcionales propiedades mecánicas, estos dos materiales permitieron el nacimiento del paradigma de la construcción en altura, *el rascacielos*, a partir de los primeros desarrollos de la Escuela de Chicago.

Sin embargo, la llegada de la Primera Guerra mundial, con las consiguientes restricciones en el uso del acero y otros metales, así como el desarrollo industrial de los adhesivos, propician una segunda oportunidad a la madera como material estructural. En este contexto, D. Karl Friederich Otto Hetzer (1846-1911), maestro carpintero alemán, revoluciona la construcción con madera gracias a su patente del año 1901 en la que definió la **madera laminada encolada**, como la superposición de láminas de madera unidas por adhesivo para elaborar vigas rectas de grandes luces. Destaca, por su carácter paradigmático, la actuación con madera laminada encolada en la sala de exposiciones de ferrocarriles alemanes para la Exposición Internacional de Bruselas de 2010.

La Segunda Guerra Mundial provocó un nuevo auge de la madera en construcción. Este hecho, junto con el avance en el conocimiento y su transferencia, permitieron a la madera laminada encolada aumentar su capacidad para resistir esfuerzos y ser usada en la construcción de grandes estructuras sin apenas restricciones en la tipología arquitectónica. Si la investigación en adhesivos entre lámi-

nas permitió la eficaz transmisión de esfuerzos entre ellas, el mayor salto cualitativo y cuantitativo en la madera laminada encolada vino de la mano de las uniones dentadas o finger-joints. En ellas, el doble principio físico de aumentar mediante el corte dentado la superficie de rozamiento y el de aumentar la adhesión físico-química mediante una pequeña cantidad de cola estructural, las uniones dentadas permiten unir tablas entre sí para formar tablas de longitud ilimitada. Esta técnica, muy innovadora en su época, permite sanear las tablas, aprovechar mejor los troncos y elaborar vigas de la luz que se desee. Con ello, la madera está siendo capaz de llegar a las construcciones de grandes luces y en altura, gracias a lo que se conoce genéricamente como madera técnica estructural (Engineered Wood Product).

Las ventajas inherentes a la madera técnica estructural son:

- Un mayor aprovechamiento del tronco;
- La eliminación de los grandes defectos de la madera;
- Mayores y más homogéneas propiedades mecánicas;
- Posibilidad de alcanzar mayores luces;
- Mayor resistencia al fuego y durabilidad;
- Múltiples aplicaciones como vigas o tableros (forjados, envolventes, tabiquería, cubiertas, pilares, etc.);
- Ser utilizada para elaboración industrializada y prefabricada.

LOS RETOS ACTUALES DE LA CONSTRUCCIÓN

Según la ONU la población del mundo alcanzará en 2050 la cifra de 9.000 millones de habitantes, lo que generará una mayor demanda de vivienda, especialmente de carácter social. Sin embargo, según la Mesa por la Industrialización de la Construcción del Clúster de Construcción Sostenible de Andalucía (CSA), el sector de la construcción se enfrenta hoy día a cinco grandes retos:

- **El cambio climático** o, en otras palabras, la descarbonización. Actualmente, el sector es culpable del 35-40% de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. De hecho, si el hormigón fuese un país, sería el tercero en la lista de emisiones, tras China y Estados Unidos.
- **Disminuir su huella ecológica** en términos de menor consumo de energía, menos residuos y mayor reciclado. La edificación es responsable del 40% de consumo de energía, el 56% de la contaminación de nuestras ciudades, el 30% del consumo de agua y el 35% de residuos. Actualmente, el 54% de los materiales de demolición acaban en el vertedero.
- **La falta de operarios en obra**, la mayoría hombres y puestos de trabajo poco inclusivos. Según datos de Asociación de Constructores y Promotores de Granada, el sector de la construcción tiene un déficit de 2500 trabajadores especializados en la provincia de Granada. Actualmente, nuestros jóvenes ya no quieren trabajar en la obra, aunque si estarían dispuestos a trabajar en una industria bajo techo o en

una oficina técnica en condiciones de bienestar.

- **La falta de digitalización.** El sector de la construcción siempre ha estado lastrado por una gestión empresarial anacrónica, a pesar de haber incluido en los últimos años el uso de aplicaciones tecnológicas aisladas, como los sistemas 3D, presupuestos, planificación, etc. La tecnología BIM aparece como la herramienta imprescindible para conectar la oficina técnica de diseño coordinada por los prescriptores, la elaboración computarizada en la industria y el montaje final dirigido incluso telemáticamente desde la propia oficina técnica.

- **La inestabilidad en el suministro de materiales** procedentes de mercados inestables. Apostar cuando sea posible por materiales cercanos, llamados también de proximidad, es hoy día más necesario que nunca. Con ello podremos fomentar el desarrollo local y regional, amortiguar la dependencia de otros mercados, e intentar asegurar una estabilidad de precios y plazos de suministro. La cercanía de materiales garantiza además una menor huella de carbono mediante la reducción de las altas emisiones asociadas al transporte.

Al respecto de este último reto, les propongo una primera reflexión. **¿Les parece sostenible y razonable que la mayoría de la madera estructural que se usa en España y Andalucía provenga de centro Europa, aun cuando España es el tercer país más forestal de Europa y el 40% de la superficie de Andalucía es forestal?**

LOS BENEFICIOS DE LA MADERA EN CONSTRUCCIÓN

De manera genérica, el uso de la madera en construcción conlleva seis beneficios claros en el momento actual.

Beneficio 1. Contribuye al objetivo de **cero residuos**. Gracias a su carácter biodegradable, la madera se puede compostar, volviendo así al flujo de la vida. Además, la madera se puede reutilizar y reciclar fácilmente.

Beneficio 2. Contribuye al objetivo de **cero emisiones**. Por su carácter biológico y gracias a la fotosíntesis del árbol, 1 kg de madera absorbe en torno a 1.5 kg de CO₂ y produce 1.07 kg de O₂, a diferencia de otros materiales como el ladrillo, el acero o el hormigón, que no absorben nada. Durante su manufactura, 1 kg de madera aserrada emite unos 50 g de CO₂, mientras que 1 kg de ladrillo, acero u hormigón emite 250, 1000 y 200 kg de CO₂, aproximadamente.

Beneficio 3. La madera en muchos lugares es un producto local, que permite ser producido cerca de la industria, ahorrando así en emisiones por transporte y generando una industria cercana. El uso de **maderas locales** es un reto del sector en este momento.

Beneficio 4. Las explotaciones forestales ayudan a combatir la pérdida progresiva de población y el

abandono del medio rural que sufren ciertas zonas del territorio, aquellas que han venido a denominarse la **España Vacía**. Actualmente se calcula que la industria de la madera genera un volumen de negocio anual de aproximadamente 20000 millones de euros en España, donde crea unos 210000 puestos de trabajo. La mayor parte de esta labor se desarrolla en zonas que han ido perdiendo población de forma continuada desde mediados del siglo XX.

Beneficio 5. En contra de una visión sin fundamento científico y ampliamente generalizada, el uso de la madera local conlleva una **mayor protección de los montes**, si su explotación se realiza con las garantías de una certificación por gestión forestal sostenible con marca PEFC o FSC. Un monte bien gestionado en las talas controladas, entresacas, clareos y limpias, es sinónimo de un monte más fuerte para resistir las plagas y los incendios. La superficie forestal de España asciende a 27 millones de hectáreas, un 55% de su extensión. Nuestro país, con 7200 millones, es el tercero de Europa tras Finlandia y Suecia en número de árboles. Según muchos profesionales forestales y propietarios agrupados en la Confederación de Organizaciones de Selvicultores de España (COSE), la clave para la mitigación del cambio climático no está en plantar más árboles, pues la superficie forestal no para de crecer de forma natural por el abandono agrario, sino en mantener bien gestionado y cuidado

lo que tenemos. Para lograrlo, la administración no cuenta con presupuesto suficiente, por lo que la única opción es el aprovechamiento y devolver la rentabilidad al monte. Bajo el punto de vista de muchos científicos y profesionales forestales, **“la conservación es gestión, no prohibición”**. Movimientos en la ciudadanía como la recientemente creada *Asociación de Propietarios Forestales de Andalucía Oriental* o la muy activa *Asociación Forestal Andaluza (AFA-PROFOR)* resultan bastante esperanzadores de cara a futuro.



Figura 4: Pinares de la Sagra, Granada.

Beneficio 6: La madera es biofílica. Está demostrado que la presencia de madera en nuestros entornos de vida tiene un fuerte efecto psicológico positivo, especialmente importante en las etapas tempranas del crecimiento y en la fase de la vejez, al margen del evidente confort térmico y visual que conlleva su uso.

LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA CON MADERA

Estos beneficios de la madera, junto con su nobleza para ser trabajada y el desarrollo de la tecnología de corte por control numérico, hacen de ella un material ideal para el desarrollo del paradigma de la construcción industrializada.

Ante los retos anteriormente mencionados, la construcción está obligada a reinventarse, impulsando nuevos modelos de negocio. La *construcción off-site*, como también se ha dado en llamar, cuenta ya entre sus inversores con grandes corporaciones como Amazon, Google o Goldman Sachs. Tendencias como la falta de mano de obra cualificada, la aplicación de metodologías Lean y BIM o la necesidad de una economía circular, han hecho que muchos profesionales del sector valoren la adopción de sistemas constructivos alternativos más industrializados. La *construcción tradicional on-site* está dejando de ser productiva y un nuevo paradigma ha comenzado a abrirse paso. Ahora, variables como la definición de módulo arquitectónico, la elección del material, el tiempo de fabricación, la cadena de montaje o el sistema de transporte adquieren una relevancia capital en el nuevo panorama off-site. Entre sus grandes ventajas están:

- El potencial para reducir los plazos de fabricación, puesta en obra y entrega hasta un 50%.
- La menor desviación en cuanto a previsiones financieras y temporales.
- La mayor calidad de los productos fabricados en un entorno controlado.
- La reducción de residuos sólidos y recursos energéticos.
- Seguridad y salud mejoradas para los trabajadores, así como una mayor inclusión e igualdad.

La madera técnica estructural ha llegado con fuerza a la construcción off-site de la mano de dos sistemas constructivos bidimensionales, **el entramado ligero y la madera contralaminada**.



Figura 5: Izquierda: Colocación en obra de una fachada de entramado ligero hecha en la industria (Fuente: Arquigreen. Dña. Ana Carvajal). Derecha: Montaje en obra de los muros interiores y de fachada de un edificio residencial de CLT (Fuente: José A. Lorenzana. PEMADE-Universidad de Santiago de Compostela).

El entramado ligero de madera consiste en la colocación de perfiles de madera aserrada esbeltos y delgados con escasa separación, formando piezas bidimensionales en las que se puede incluir el material de aislamiento y sobre las que se instalan unos paneles y membranas que proporcionan arriostramiento, estanqueidad y ventilación para evitar la proliferación de hongos de pudrición. Mediante el diseño BIM y el corte por control numérico, este sistema permite hacer piezas enteras bidimensionales para la fachada y las particiones interiores de la vivienda, que desde fábrica ya llevan incorporados los huecos para las puertas, las ventanas y las instalaciones. Se puede realizar el montaje de una vivienda unifamiliar aislada de 200 m² en un plazo de 3 días, o de un equipamiento de 1000 m² en 15 días. Además, gracias a los aislamientos, el edificio puede llegar a ser de consumo energético casi nulo (*nZEB-nearly Zero Energy Building*). Su mayor limitación, sin embargo, es no poder abordar las grandes luces y no permitir la construcción en alturas superiores a tres o cuatro pisos.

No obstante, el producto que ha permitido un salto cualitativo en la construcción industrializada con madera es la madera contralaminada (CLT), un producto surgido en la Universidad de Graz, Austria, en torno a 1990. El CLT es un elemento superficial en forma de placa formado por varias capas encoladas de tabla de madera empalmada con uniones dentadas, con orientación alternativa

de sus fibras en 0 y 90°. Su configuración cruzada le confiere gran estabilidad dimensional, lo que permite ser usado para muros de fachada e interiores, forjados y cubiertas. Cabe señalar que las primeras referencias internacionales sobre CLT tienen su origen en los años 1950 usando madera de chopo, según relata el Ingeniero de Montes español D. Fernando Nájera y Angulo.

Al CLT se le atribuye el enorme cambio que está sufriendo el uso de la madera estructural en Europa. Su llegada está suponiendo una enorme revolución en el sector, llegando a grandes edificaciones en altura. Son ya tres las industrias que lo fabrican en España; Egoín en el País Vasco, Fustes Sebastián en Cataluña y Xylonor en Galicia, aunque se espera la apertura de nuevas fábricas o ampliación de las ya existentes en los próximos años.



Figura 6: Edificios de CLT. Izquierda: Murray Grove, Londres (9 plantas). Centro: Mjøstårnet, Noruega (86 m). Derecha: Residencial en Calle Cuenca (Bonsai Arquitectos), Granada (planta baja, 3 plantas y ático; Foto: Bonsai Arquitectos / Ádám Tóth).

El primer edificio cuya estructura fue íntegramente elaborada con CLT fue el “*Murray Grove*” en Londres, un edificio de 9 plantas construido en 2009 que secuestra 750 t de carbono, en contra de las 500 t que se hubieran emitido si se hubiese elaborado en hormigón armado. Actualmente, el edificio más alto construido en CLT es el “*Mjøstårnet*”, inaugurado en 2019 en Noruega, con 85 m de altura. A nivel nacional destacan, entre otros, el edificio de 4 plantas de viviendas sociales en Hondarribia promovido por el gobierno vasco, el edificio “*La Borda*” de 6 plantas en Barcelona promovido en régimen de cooperativa, o la escuela infantil A Baiuca en Pontevedra.

Un caso paradigmático en España de edificio público es el edificio **Impulso Verde** de Lugo, propiedad del Concello, realizado en el marco del proyecto **LIFE Lugo +Biodinámico** como edificio demostrativo del uso de madera local de Galicia, además de como ejemplo para el secuestro a largo plazo de carbono y mitigación de cambio climático. Su forma poliédrica responde a la integración con los distintos ámbitos del entorno que confluyen en su ubicación, y a la búsqueda de un diseño bioclimático para un buen funcionamiento energético pasivo, que junto con una envolvente con un gran aislamiento térmico, permite alcanzar un consumo energético casi nulo y una baja huella de carbono. Impulso Verde demuestra el uso conjunto de distintos materiales, cada uno de ellos en

su función óptima: madera contralaminada de pino radiata en muros y forjados; madera laminada encolada de pino radiata en vigas y pilares; y madera laminada de eucalipto en la cubierta, formada por una estructura reticular con elementos de sección mínima. El acero juega un papel fundamental en las conexiones entre elementos, y toda la estructura transmite su carga a la base de cimentación de hormigón armado. La piel del edificio se resuelve con un acabado de piezas de pizarra local, material tradicional en Lugo. El volumen se abre completamente al sur mediante un muro cortina de vidrio sustentado interiormente por una estructura reticular de madera laminada de pino radiata, que en su llegada a planta baja cambia el material a perfiles de acero laminado, debido a su posición expuesta al exterior, garantizando así la durabilidad de la madera al estar colocada sólo en interior.

Con una superficie total construida de casi 900 m², 4 plantas y 19 m de altura, la estructura fue montada en 8 semanas y el edificio completo construido en 20 meses. En términos de sostenibilidad, se utilizaron 450 m³ netos de madera que almacenan 280 t de CO₂, aproximadamente.

Actualmente, Impuso Verde ya es un dinamizador del futuro barrio multi-ecológico de la ciudad, diversificando su oferta turística, dando una imagen de modernidad e innovación a la ciudad y la comunidad autónoma, así como de conexión con su territorio y la sostenibilidad de la construcción.



Figura 7: Edificio Impulso Verde (Lugo).
Fuente: <https://www.lugobiodinamico.eu/es/>

No obstante, muchos profesionales y promotoras, cuestionan el CLT por ser un producto de madera masiva, lo que puede poner en entre dicho la capacidad de suministro de nuestros recursos forestales. Está comprobado que para luces mayores a 6 metros, el espesor de CLT que se precisa para cumplir los códigos de cálculo estructural es tan elevado que el sistema deja de ser competitivo. En otras palabras, a pesar de las excepcionales propiedades del CLT, no parece que este material por si solo sea capaz de extenderse de forma masiva en la construcción y producir un cambio de paradigma en términos de una bajada de huella de carbono

neta del sector. Teniendo en cuenta esto, así como las limitaciones del entramado ligero en altura, parece razonable pensar que la tipología arquitectónica que podría estar llamada en el futuro a producir un uso masivo de la madera en la construcción es la **estructura mixta madera-hormigón**.

EL CHOPO EN GRANADA

¿Y en este contexto de crecimiento de la construcción industrializada con madera técnica, tiene el chopo alguna oportunidad real de aumentar su valor añadido?

La explotación del chopo, especie de crecimiento rápido y de fácil cultivo en zonas de ribera, surgió por el déficit maderero por el que atravesaban muchos países, alentados por los informes de la F.A.O. (*Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*). En esta línea, el chopo en Granada ha sido y sigue siendo uno de los recursos madereros más importantes de la provincia.

Está más que demostrado que el chopo fue ampliamente usado en el Reino de Granada durante el periodo de Al-Ándalus. Una prueba evidente son las cubiertas de las dos naves laterales del Patio de la Guardia de la Alhambra, construidas con pares de madera de chopo. Más concretamente, en el Informe del Patronato de la Alhambra de 2003 se dice que *“las cubiertas presentaban una flecha excesiva y sus cabezas estaban totalmente podridas”*, lo cual nos da indicios del paso del tiempo y de las propiedades intrínsecas de la madera cuando no está protegida de la humedad. Por otro lado, es bien conocida la existencia de rollizos de chopo en las cubiertas y techumbres de muchas casas moriscas de la ciudad de Granada y la comarca de la Vega.

Durante la primera revolución agraria de la Vega de Granada entre el S.XVIII y la segunda mitad del S.XIX, el chopo sigue como vegetación de ribera del río Genil, en lo que podemos denominar como choperas silvestres. La más conocida y extensa es la del Soto de Roma, una zona pantanosa a orillas del Genil. Además de su valor ambiental como protector de la ribera, la madera de estas alamedas silvestres tenía uso estructural como madera local para andamios, techumbres y cubiertas. Las variedades de dichas alamedas eran el *populus alba* y el *populus nigra*, a las que con posterioridad se incorporaron nuevas especies americanas, fundamentalmente el *populus deltoides*. Estas especies son por tanto, las progenitoras de las posteriores especies indígenas granadinas.

En 1883 llega a la Vega de Granada la llamada revolución del oro blanco, con la inauguración del “*Ingenio de San Juan*”, primera fábrica de Granada y España capaz de refinar 10 toneladas diarias de remolacha. En 20 años, se asientan en Granada 14 azucareras, generando una enorme transformación social y urbana, así como la aparición de una burguesía industrial. La Azucarera de San Isidro, adquirida recientemente por la Universidad de Granada, es una de ellas, llamada a jugar un papel fundamental en todo lo que les voy a contar.

En esa época, impulsadas por un problema ambiental y por la alta demanda de la construcción,

se iniciaron las repoblaciones masivas con chopos para regular las avenidas del río Genil, confiriendo así a las choperas una de sus principales ventajas, la de ser un cultivo protector. Fue éste oficialmente el comienzo del chopo como cultivo agrario, dando inicio a lo que en palabras de la investigadora del IFAPA Dña. María A. Ripoll podemos denominar, “*selvicultura agraria*”. Esta **I Revolución del Chopo en Granada**, llegó de la mano de D. Diego Liñán Nieves, conocido como “*El Rey del Chopo*”, al que podríamos considerar como el primer selvicultor de los valles de Granada, a la vez que maderista e industrial, confiriendo así al cultivo la denominación de ***cultivo industrial***. Paralelo al crecimiento del chopo se producía el declive del cultivo de la remolacha y el nacimiento del cultivo del tabaco en la Vega de Granada. Y con ello, el uso del chopo como material estructural para los tan singulares y bellos secaderos de la Vega de Granada. En esta época ya se plantaban las variedades indígenas de Granada, procedentes de las hibridaciones o evoluciones de las variedades anteriores; el Negrito, el Blanquillo de Granada y la Chopa de Santa Fe. Estas variedades indígenas no son de crecimiento muy rápido, teniendo una base productiva muy aceptable sobre unos ciclos de crecimiento largos para hoy día, de unos 15 años. La calidad de la madera en términos de alta densidad, alta rigidez y resistencia, así como la rectitud de los troncos, era considerada a nivel nacional e internacional como excelente para cualquier uso

industrial, incluso el uso estructural. La madera de Granada era considerada como madera de primera categoría en los mercados nacionales de madera de chopo. En esta época, las plantaciones de chopo se realizaban a marcos de plantación muy pequeños, es decir, plantaciones muy densas, de entre 0.8 x 0.8 m hasta 1.8 x 1.8 m, pues el diámetro de los troncos producidos, aunque bajo, era justamente el demandado para andamios y vigas. Como referencia, cabe destacar el primer aserradero de madera de chopo de la Vega, creado por D. Diego Liñán en la antigua fábrica San Juan en las Huertas Bajas de la localidad de Santa Fe, hoy día en estado ruinoso, propiedad de su sobrina Dña. María del Carmen Jiménez Barrionuevo-Liñán, Marita, querida productora de chopos de la Vega de Granada.

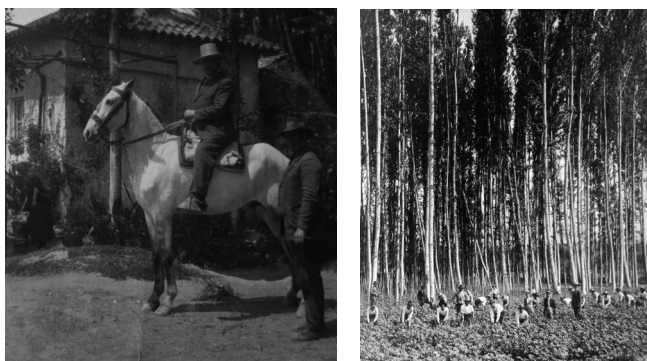


Figura 8: Izquierda: D. Diego Liñán Nieves, el Rey del Chopo. Derecha: Labores en una plantación de remolacha frente a una chopera a principios de siglo XX. Fotos cedidas por Dña. María del Carmen Jiménez Barrionuevo-Liñán.

A partir de la segunda mitad del siglo XX y con la clara disminución del tabaco en la Vega de Granada, el uso del chopo para la construcción de los secaderos quedó reducido a su cubierta, pues el resto de la estructura se elaboraba de ladrillo y bloques de hormigón. A la vez, los andamios comenzaban a construirse con metal y la madera se sustituye por el hormigón y el ladrillo en las construcciones rurales. Se pierde así el uso del chopo como madera estructural.

Sin embargo, el auge del comercio hortofrutícola en la Vega de Granada y el Levante español fue abriendo a la madera de chopo un nuevo y amplio mercado. Dejaba de primarse la alta densidad, rigidez y resistencia de la madera, a favor de su ligereza y el color blanquecino, así como el menor precio, pues el envase hortofrutícola es un producto de menor valor añadido que las vigas estructurales. Paralelamente y gracias al congreso Internacional del Chopo celebrado en Granada en el año 1955, bajo la influencia del Ministerio de Agricultura se introducen en Granada los denominados clones híbridos italianos, caracterizados por su rápido crecimiento (turnos de corta de 10 años en la Vega de Granada), los cuales producen más madera en menos tiempo, con un color más claro y una menor densidad, es decir, justo las propiedades demandadas por la industria del envase. Por el contrario, el crecimiento rápido de estos nuevos clones, le confieren una menor rigidez y, por tan-

to, una menor adecuación a los fines estructurales, los cuales ya estaban quedando en desuso. A la vez, los marcos de plantación fueron creciendo, llegando incluso a 3.0 x 3.0 m, produciéndose así troncos más gordos con mayor aprovechamiento mediante desenrollo del tronco. Podemos por tanto considerar que a mediados del siglo XX se produjo la **II Revolución del Chopo en Granada**, que supuso el declive del chopo en construcción como madera sólida, pero su auge en el sector del envase como tablilla fina y contrachapado de chapa. Cabe señalar que en 1962 Granada era la primera provincia española productora de chopo, seguida de Zaragoza y Ciudad Real. Según el censo agrario de ese año, eran 3500 las explotaciones de chopos en Granada, con un promedio de poco más 1 ha de extensión. No obstante, con los altos crecimientos de la Vega de Granada debidos a la excelente combinación sol, agua y calidad de la tierra, se instala en España el mantra “*la madera de Granada es de mala calidad*”, es decir, una madera poco densa y de poco rendimiento. Y todo ello sin base científica alguna, o lo que es peor, en contra de los análisis realizados por el Distrito Forestal de Granada, que indicaron que la madera de Granada tenía unas propiedades mecánicas a flexión, tracción y densidad, perfectamente adaptables a los diversos usos industriales del momento. Una injusticia, basada en el desconocimiento científico, que será clave en la posterior crisis del chopo de Granada.

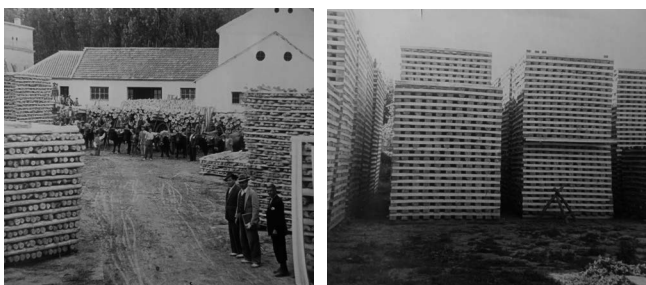


Figura 9: Izquierda: Fábrica San Juan, primer aserradero de la Vega (Santa Fe). Derecha: Castillos de madera para construcción a principios de siglo XX. Fotos cedidas por Dña. María del Carmen Jiménez Barrionuevo-Liñán.

En esta época era común el uso de la técnica de las entresacas, la cual producía dos cosechas para el propietario. La primera, a partir de los 3 años, producía troncos delgados destinados masivamente para puntales de entre 2.5-4.20 m para encofrados de forjados de hormigón, así como para la industria de celulosa para papel, al abrirse la fábrica ENCE (*Fábrica Nacional de Celulosas*) con un consumo de 40.000-50.000 m³ de madera al año, en el puerto de Motril. El fomento del uso del clon Campeador preferido por esta industria por su alto rendimiento para pasta de celulosa, pero con madera de muy mala calidad para desarrollo, fue otro de los motivos del desprestigio de la madera granadina. Trascurridos 9 o 10 años, la segunda cosecha producía troncos de mayor diámetro, destinados al desarrollo para envases. No obstante, debido a la mecanización de las labores silvícolas, a la complejidad de las entresacas y a la sustitución de los

puntales de madera por los metálicos, esta técnica fue progresivamente eliminándose.

La industria de los envases ha tenido una larga tradición en Granada. Su núcleo se situó en Santa Fe, que funcionaba como el centro principal del negocio de la madera en la provincia, por estar bien comunicada y ser el área de los mayores propietarios de choperas, que en cierto modo fueron los impulsores de esta nueva industria en Granada, al convertirse en propietarios de dichas industrias. Empresas históricas fueron Moto Campo S.A., de capital agrícola entre diversos propietarios de chopos convertidos en industriales, Manuel Algualcil S.A., familiar y de capital agrícola, y Envases Granada, empresa esta última creada con subvenciones del Polo de Desarrollo de Granada y cuyo capital, aunque en parte de propietarios de choperas, fue fundamentalmente de origen no agrícola.

En Castilla y León, comunidad autónoma con más del 50% de las plantaciones de chopo de España en la actualidad, la I Revolución del Chopo llegó mucho más tarde que en Granada, en torno a 1950, cuando apoyadas por Patrimonio Forestal del Estado, se realizaron las primeras plantaciones masivas en la ribera del Esla (León). En La Rioja, años atrás, había nacido la empresa Garnica en Baños del Río Tobía, como serrería para la obtención de tablilla de chopo. En 1973, esta empresa comienza a realizar desenrollo en corto para elaboración de

contrachapado para envases, contribuyendo así a la II Revolución del Chopo en el Norte de España, dos décadas más tarde que en Granada. Más tarde, en 1985, esta empresa comienza a manufacturar tablero contrachapado de mucho más espesor y mayores dimensiones, denominado contrachapado industrial, cuyo destino final son mercados más exigentes como el transporte, caravanas y barcos, y posteriormente el de la construcción como paneles para aislamiento y arriostramiento. Garnica Plywood es hoy líder europeo en la fabricación de tablero contrachapado de chopo, con 5 fábricas en España y 2 en Francia. Más tarde, las industrias Mabesal en Valencia e Industrias Monzón en Zaragoza le siguieron los pasos. Nació así en España, de manos de la innovación, la industria de un producto de mucho más valor añadido que el de los envases, el cual provoca la necesidad de un recurso de mayor calidad, cuya producción no es posible sin troncos más gruesos y libres de nudos. Esto provocó lo que podemos llamar la III Revolución del Chopo en el Norte de España, que condujo inexorablemente a la necesidad de mayores marcos de plantación (entre 5.0 x 5.0 m y 6.0 x 6.0 m) y una selvicultura más exigente, con podas mecanizadas y mejores cuidados de la tierra. A estas industrias se le sumaron más tarde Infoyma S.L. en Palencia y Losán en Zamora.

Quizás debido a la injusta y mala imagen de la madera o a la falta de emprendimiento, a esta III

Revolución del Chopo nunca ha llegado a sumarse el sector del chopo de Granada. Nunca se generó en Granada una industria del contrachapado industrial. Con todo ello, desde finales de los años 70 y de manera muy selectiva, algunos propietarios lentamente movidos por la idea de que incluso la industria del envase granadino también valora los troncos más gruesos y libres de nudos, han ido adaptando sus plantaciones a mayores marcos de plantación y el uso de podas mecanizadas. Hoy en día es posible encontrar bastantes plantaciones de chopos en Granada con un marco de plantación de hasta 5.0 x 5.0 m, en gran medida promovido por los resultados de los ensayos científicos del IFAPA, a cargo de la investigadora María A. Ripoll. Este hecho, junto a una alta demanda de la industria del envase, produjo que entre finales del siglo XX y principios del XXI existiera en Granada una gran superficie destinada a chopos, unas 12.000 ha.

La llegada de la crisis económica del año 2008 y los bajos precios, provocaron que muchos propietarios necesitaran el dinero de la corta de la choperas para seguir manteniendo la economía familiar, y que no volvieran a plantar. Esto, junto con la no existencia de subvenciones de la PAC (Política Agraria Común) en clara competencia desleal con otros cultivos y un sistema de venta de madera no directa entre el propietario y la industria debido a la falta de asociacionismo en el sector, provocaron el descenso exponencial de las plantaciones de chopo en Granada, en especial en la Vega de Granada, hasta un

valor en torno a las 4500 ha según el inventario de la Comisión Nacional del Chopo de 2021. Comenzó de esta forma lo que podemos denominar **Crisis del Chopo de Granada**, de la que aún no se ha salido. No obstante, la disminución drástica de las plantaciones a partir de 2008, la aun existente industria del envase local (Envases Ureña e Industrias Pérez Montosa) y levantino, y la ley de la oferta y la demanda, han provocado un alza sin precedentes de los precios de la madera, que está animando a las replantaciones.

En este punto parece razonable hacer la siguiente reflexión.

¿Es sostenible el sector del chopo en Granada si se sigue manteniendo la industria del envase como única salida de la madera, siendo este un producto de bajo valor añadido?

O por el contrario, **¿es posible en Granada una III Revolución del Chopo con un nuevo producto de más valor añadido basado en el conocimiento?**

En el contexto actual de desarrollo del conocimiento de la madera técnica estructural y su creciente uso en construcción tal cual he comentado anteriormente, así como de crisis climática y ambiental a la que han reaccionado todas las políticas nacionales e internacionales, parece razonable pensar que esa III Revolución del Chopo de Granada puede venir de la mano del uso del chopo como madera estructural para construcción.

La historia nos transmite además dos mensajes de enorme fuerza. El primero, que las necesidades ambientales y el uso en construcción como material estructural, son razones más que suficientes para provocar una nueva revolución, pues son los mismos motivos por los que D. Diego de Liñán provocó la I Revolución del Chopo de Granada. El segundo, que al igual que los propietarios de chopos fueron los actores principales para la creación de la industria del desarrollo en la Vega de Granada, tendría todo el sentido pensar que este emprendimiento industrial sigue en su ADN y que, por tanto, ellos mismos serían los mejores garantes para propiciar el éxito de una futura industria de laminados estructurales de chopo si se convierten en copropietarios de la misma.

Pero como no hay nada mejor que buscar buenos compañeros de viaje, especialmente en largas y no fáciles singladuras, parecería razonable que los nuevos productos estructurales y el desarrollo de esta nueva industria, tuviera en cuenta también otros recursos forestales de la provincia, totalmente en desuso o en infrautilización, como es la madera de pino de los diferentes montes de la provincia, y cuya falta de explotación es sinónimo de masas forestales más vulnerables a incendios y plagas, así como a despoblación rural de la provincia.

Nace así, como elemento facilitador, el proyecto europeo LIFE Wood for Future que paso a describirles.

NUEVOS PRODUCTOS ESTRUCTURALES DE CHOPO

El proyecto LIFE Madera para el Futuro pretende ser motor para *“Recuperar las alamedas productivas de la Vega de Granada para mejora de la biodiversidad y secuestro de carbono a largo plazo en nuevos productos estructurales”*. Su estrategia, como no puede ser de otra forma, es tener como base el conocimiento, incorporando la innovación en toda la cadena de valor para provocar la aparición de un nuevo ecosistema industrial local de productos estructurales hechos con madera de chopo.

Las dos claves para desarrollar un nuevo producto que genere economía son, **el conocimiento**, es decir, la idea y su desarrollo técnico, y la existencia de un **mercado**.

De lo comentado anteriormente está claro que la madera técnica estructural cuenta con un mercado cada vez más amplio. Andalucía además, por su extensión y alta densidad de población en zonas de costa, cuenta con el 20% del mercado de la construcción de toda España. Además, gran parte de ese mercado son propietarios de origen centro europeo o nórdico, en cuya cultura está impregnada la construcción con madera. Es también creciente la concienciación social por el uso de productos locales. Hoy día en el Sur de España no existen productos de madera técnica estructural hechos

con madera local, pero si existe un mercado que los demanda.

En este contexto, el proyecto pretende hacer todo el desarrollo técnico y normativo para poner cerca de mercado, con marcado CE, dos nuevos productos estructurales no existentes actualmente:

MCLam, o vigas laminadas mixtas chopo-pino hechas con tablas de chopo colocadas en sus capas interiores como transmisoras de esfuerzos y tablas de pino en sus capas exteriores para soportar los esfuerzos de compresión y tracción. Mediante esta configuración, el chopo aporta la mejor de sus propiedades, su baja densidad, aligerando el peso del producto final. El pino, por su parte, aporta también la mejor de sus propiedades, su mayor módulo de elasticidad. Surge así un producto mixto más rígido que si fuera solo de chopo y más ligero que si fuera solo de pino. Nuestras investigaciones previas han demostrado que mediante el uso de los clones MC y el Luisa Avanzo, los cuales representan casi el 70% de la producción granadina, se puede llegar a elaborar vigas laminadas de solo chopo con un módulo de elasticidad entre 9000-10000 MPa muy similar al de la *picea abies* procedente de Centro Europa. Si las vigas laminadas se elaboran solo de pino silvestre, su módulo de elasticidad sería mucho mayor, en torno a 15.000 MPa, pero a costa de un elevado peso. Por su contra, el producto laminado MCLam mixto de

chopo y pino, tendría un módulo de elasticidad de unos 13.500 Pa, con un aligeramiento del peso de la viga del 40%. De esta forma se podrían seguir usando las variedades de chopo que ya existen en Granada, conviviendo así un doble uso, el envase de fruta y la viga laminada de la futura industria.

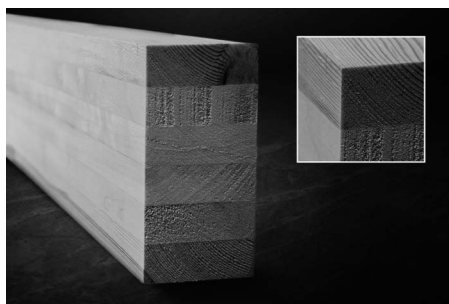


Figura 10: Prototipo de viga laminada de chopo y pino elaborado en la Universidad de Granada.

Fuente: <http://compop.ugr.es/>

MCLamBS, o prefabricados mixtos madera-hormigón para forjados, formados por vigas laminadas de madera MCLam y una losa de hormigón, unidas entre sí por una conexión metálica que transfiere los esfuerzos entre los materiales. De esa forma, la viga de madera trabajaría de la forma que mejor lo sabe hacer, a tracción, haciendo el papel del acero en el hormigón armado, y el hormigón trabajaría también de la forma que mejor lo sabe hacer, a compresión, y aportando la

masa suficiente para mejorar el aislamiento acústico del conjunto. Este producto tendría una serie de ventajas que lo hacen competitivo en el mercado:

- La sustitución de parte del hormigón por madera, aligera de forma significativa la estructura.
- Las emisiones de CO₂ del hormigón quedan compensadas por la absorción de la viga laminada de madera, siendo así un producto de huella de carbono nula, de enorme interés para que el potente sector del prefabricado del hormigón disminuya su huella de carbono.
- Es un producto que permite llegar con seguridad estructural a las construcciones de las grandes luces, a un precio mucho menor que otras soluciones solo en madera.
- Es un producto de elaboración en fábrica, que encaja perfectamente en el modelo de la construcción industrializada.
- El enorme prestigio técnico que tiene el hormigón como material estructural entre la mayoría de los prescriptores, constructoras, promotoras y usuarios finales, permitiría que la madera llegase a una mayor cuota de mercado, sin el uso masivo de grandes cantidades de madera, aportando de esta forma sostenibilidad al uso de los recursos forestales.
- El alineamiento y maridaje perfecto de tres materiales muy diferentes desde todos los puntos de vista permitiría a la madera de

chopo alcanzar las mayores cuotas de prestigio jamás imaginables, de la mano del material que ha revolucionado la construcción de viviendas y obra civil durante el último siglo, *el hormigón*.

Aunque en Europa ya existen productos estructurales mixtos madera-hormigón, el carácter innovador del producto residiría en el uso de la madera de chopo, los laminados mixtos de dos especies, y una nueva y más eficiente conexión metálica entre la viga de madera y la losa de hormigón.

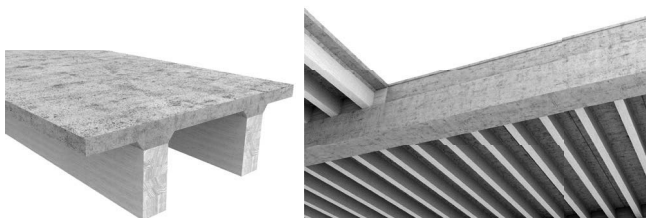


Figura 11: Infografía del producto prefabricado MCLamBS mixto formado por vigas laminadas de chopo o mixtas chopo-pino y la losa de hormigón y su aplicación. Fuente: PEMADE-Universidad de Santiago de Compostela. <https://life-woodforfuture.eu/>

UNA NUEVA INDUSTRIA

Para el desarrollo de este producto, el ecosistema industrial consistiría en una industria a cuatro niveles:

- **Nivel I**, constituido por una serie de **aserraderos locales** distribuidos por la provincia de Granada y provincias limítrofes para el aserrado del chopo y el pino;
- **Nivel II**, formado por una **industria o industrias de biomasa** para la valorización de los residuos del aserrado.
- **Nivel III**, formado por una pequeña **industria de vigas laminadas** que elabore el producto MCLam;
- **Nivel IV**, formado por una **industria de prefabricados de hormigón** que elaborase el producto mixto madera-hormigón MCLamBS.

Para el impulso de esta industria y servir de muestra para todo el sector de la construcción y la ciudadanía, el proyecto hará una demostración práctica de estos productos en un edificio demostrativo. Parecería razonable pensar que este edificio formase parte de esta nuestra casa, la Universidad de Granada, al igual que Impuso Verde fue promovido por el Ayuntamiento de Lugo. De esta forma, se contribuiría a desarrollar el Eje 4 del flamante Plan Estratégico 2031 de la UGR, la **Transformación del Entorno**.



Figura 12: Madera que se usará para el edificio demostrativo del producto MCLam. Izquierda (2021): Labores de corta de una chopera de la Vega de Granada. (Propietario: D. Juan Carlos Cano; Cortador: D. Ángel Sánchez e hijo). Derecha (2022): Madera aserrada para elaboración del producto.

En otras palabras, quiero transmitirles a todos ustedes la ilusión del sector del chopo y de los participantes de LIFE Madera para el Futuro de que sea la Universidad de Granada la demostradora de estos nuevos productos. Hay que tener en cuenta que sería el primer edificio hecho con madera técnica estructural de chopo y un ejemplo paradigmático de los sistemas mixtos madera-hormigón de huella de carbono nula usando maderas locales, lo que sin duda tendría gran impacto para el territorio y la propia Universidad. El edificio surgiría además gracias a la cooperación entre dos comunidades autónomas, Galicia y Andalucía, y dos Universidades, Santiago de Compostela y Granada, algo poco común en los tiempos que corren.

No cabe duda de que este desarrollo industrial sería tractor de un cambio profundo e innovador del

sector primario y del territorio, tanto de los cultivos del chopo como del sector forestal de los montes orientales de Andalucía. La industria es siempre la tractora del recurso. A saber:

- Un mayor esfuerzo investigador público-privado sobre el comportamiento de nuevas variedades de chopo en nuestro territorio, ante las amenazas del cambio climático.
- El uso de planta certificada en viveros locales que asegure un pasaporte fitosanitario y trazabilidad varietal, habida cuenta de que no todos los clones tendrán reconocimiento normativo para la elaboración de productos estructurales.
- La implementación de una selvicultura más competitiva para producir troncos más gruesos y con menos nudos, fomentando así los marcos de plantación amplios y las podas mecanizadas y de calidad, siendo además más respetuosa con el medio ambiente.
- El fomento del asociacionismo. Cabe decir que el 14 de mayo de 2022, como día histórico en la populicultura granadina y andaluza, 73 propietarios dueños de 1300 hectáreas se constituyeron en una sociedad civil irregular, denominada MARJAL, para defender sus intereses, garantizar un suministro a la industria, hacer una gestión común con certificación forestal sostenible, implementar un sistema de subastas para la venta directa

de madera entre el productor y la industria, y crear una marca propia, madera Marjal, que garantice la procedencia. Marjal, como es bien sabido, es una unidad de superficie agraria local equivalente a 528.42 m², que ajena al Sistema Internacional de medidas, ha permanecido hasta nuestros días con plena vitalidad, recordando a la extensión de uno de los espacios más emblemáticos de la ciudad, el Patio de los Leones de la Alhambra. Devuelven así los propietarios, con uno logotipo cuyos colores emulan la bandera de la ciudad de Granada, el reconocimiento a un monumento que entre sus fortunas aun guarda restos de aquellas alamedas silvestres de la Vega de Granada.

LA NECESIDAD DE ESTAR AGRADECIDOS AL CHOPO

El enorme cambio global inducido por el ser humano sobre el Planeta durante las últimas décadas ha puesto sobre la mesa la necesidad de un mayor respecto por el medio ambiente. Diferentes políticas internacionales han apostado por ello. A saber, los Objetivos de Desarrollo Sostenible dentro de la Agenda 2030, el Pacto Verde Europeo, la Estrategia Europea de Biodiversidad, la Estrategia de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático, la Revolución Verde de los Planes de Reconstrucción y Resiliencia, entre otras. Incluso a nivel local, el reciente Pacto por Granada, también llamado Pacto de Los Mártires, apunta en su primer eje a que todas las administraciones deben “*Trabajar por una Granada verde con el reto de afrontar la transición ecológica*”. El chopo, la lira verde de Góngora, generoso por haber trabajado por una Granada verde durante más de un siglo y, por qué no decirlo, entristecido por no haber sido reconocido por su labor, encuentra ahora su razón de ser.

Nadie debería tener en mente que las choperas son bosques. No obstante, aunque no lo son, estos cultivos de árboles para madera cumplen muchas de las funciones de los bosques, aportando así lo que se conoce como **servicios ecosistémicos** a toda la sociedad, incluso a las personas que no contribu-

yen económicamente con su plantación y cuidado. Las alamedas actúan como cultivos protectores ante nuestros numerosos problemas ambientales.

El área metropolitana de Granada es un desgraciado mosaico de dificultades y complejidades medioambientales, que han ido evolucionando al alza en los últimos años debido a la concentración de la población en esta zona y a los continuos desplazamientos en coche entre sus poblaciones.

El primero de los problemas es la desgraciada y afamada contaminación, que nos sitúa como una de las ciudades más contaminadas de España y Europa. Su geografía y su insuficiente sistema de transporte público son dos circunstancias difíciles de cambiar en el corto plazo. ¿Vamos incluso a ponérselo más fácil a la contaminación permitiendo la desaparición de nuestras alamedas, auténticos pulmones verdes generadores de oxígeno y absorbentes incondicionales de partículas contaminantes? Los chopos absorben los gases contaminantes como óxidos de nitrógeno, amoníaco, dióxido de azufre y ozono, fijándolos a su hoja y su corteza. En un año, una hectárea de chopos puede proporcionar el oxígeno suficiente para la vida de 142 personas. Actualmente, las choperas existentes generan el oxígeno de las personas que viven en toda el área metropolitana, en torno a 500000.

El segundo de los problemas, desgraciadamente poco conocido, es el de la contaminación del acuí-

fero de la Vega de Granada por la presencia de nitratos debido a la continua proliferación de fertilizantes no ecológicos en algunos cultivos agrícolas. En la mayoría de los puntos de medición por sondeo se sobrepasa el límite permitido de 50 mg/l. Las choperas, además de no precisar de fertilizantes, actúan como filtros verdes de estos nitratos. En el riego de choperas con aguas residuales urbanas, la materia orgánica queda retenida y depositada en el suelo, donde se mineraliza lentamente, pasando a formar parte de la masa de la chopera, evitándose así que acabe en el acuífero. En un informe reciente de la Oficina de Planificación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, se reconoce que el riego a manta de las choperas de Granada es una cultura local del agua diferente que sirve para recargar con aguas limpias el acuífero, siendo esto motivo más que suficiente para aumentar la dotación de agua para su mantenimiento.

El tercer problema ambiental es la subida de las temperaturas. Es evidente que los árboles suavizan la temperatura. Las choperas tienen una alta tasa de transpiración y sombreado, es decir nos protegen de la radiación solar, lo que aumenta la humedad relativa y provoca el descenso de temperatura.

Un cuarto problema ambiental es la alarmante disminución de la biodiversidad en la Vega de Granada, provocada por un indiscriminado uso de insecticidas y herbicidas. El mosaico agrícola de

la Vega, reconocido desde tiempos inmemoriales, no se merece este continuo maltrato. Pese a ello, las choperas, especialmente en su fase intermedia y madura de crecimiento, son refugio de numerosas especies animales. Los primeros estudios del Departamento de Zoología de la Universidad de Granada en este proyecto LIFE constatan la existencia de hasta 71 especies de aves, de las que 68 son probablemente reproductoras, lo que supone el 83.5% de las aves citadas en la bibliografía para la Vega de Granada en el periodo de reproducción. Se ha localizado también águila calzada, ratonero común, milano negro y lechuza común, entre otras rapaces. Respecto de los insectos polinizadores, aunque las choperas mantienen un valor superior de abundancia respecto del resto de los cultivos herbáceos dominantes, el número es muy bajo, lo que nos alerta de forma dramática del uso excesivo de insecticidas y herbicidas.

Para el final de mi intervención he dejado el que probablemente es **el mayor reto ambiental** al que nos enfrentamos en la actualidad, quien sabe si ya en un punto de no retorno; el calentamiento global provocado por el aumento de emisiones por efecto invernadero. Oír en la televisión y lamentarnos del cambio climático desde nuestro sofá con el aire acondicionado a menos de 20°C planificando nuestro próximo viaje de tres días en avión al continente americano, esperando a que otros lo resuelvan, no parece ser la salida más eficaz. De todos es

responsabilidad contribuir a la lucha diaria contra el aumento de temperaturas. Los productores de madera de chopo hacen este trabajo por nosotros y, por tanto, parece razonable que deban ser compensados, al menos por aquellos que producen emisiones netas positivas.

Debido a su crecimiento rápido, el chopo es uno de los árboles con mayor tasa de absorción de carbono, entre 20 y 30 toneladas por hectárea y año. Se estima que una hectárea de chopo en 10 años absorbe 20 veces más carbono que una hectárea de maíz plantada durante todo ese periodo.

La compensación de carbono de las empresas con emisiones positivas es hoy día práctica común, alentadas y obligadas por diferentes políticas y reglamentos, o simplemente como medida para teñir de verde su imagen corporativa. El chopo tiene aquí una oportunidad, como ya la tuvo por las inundaciones provocadas por el río Genil en el siglo XIX. El agricultor de chopos no solo está criando madera, también está capturando carbono de la atmósfera que queda retenido en su madera. Las choperas son en definitiva **granjas de carbono**. Además, cuando el uso de la madera es estructural, este carbono puede quedar fijado incluso siglos, sin capacidad de reincorporarse a la atmósfera en el plazo inmediato. En este contexto, el proyecto LIFE Madera para el Futuro implementará un sistema innovador de cálculo de

créditos carbono que podrán ser vendidos por los propietarios de las alamedas a empresas que generen emisiones netas positivas y necesiten o deseen compensar su huella de carbono. De esta manera se contribuye a la creación de un mercado local de créditos de carbono, haciendo que el dinero de su venta revierta en la propia economía y el medio ambiente de nuestra tierra, cerrando así el círculo virtuoso de una nueva bioeconomía local basada en el desarrollo sostenible y la mitigación de cambio climático.



Figura 13: Izquierda: Choperas en la ribera del río Fardes cumpliendo el papel de pulmón verde del Geoparque de Granada (Foto: D. Francisco B. Navarro). Centro: Chopera de un año en Cortes de Baza cumpliendo el papel de filtro verde durante el riego a manta. (Propietario: D. Moisés García). Derecha: Espesa masa foliar de una chopera en la Vega de Granada amortiguando la radiación y absorbiendo partículas contaminantes (Propietario: D. Juan Carlos Cano).

Concluyo: El cambio global en nuestro Planeta ha llegado y el ser humano, como responsable máximo del mismo, debe asumir su responsabilidad. Las choperas, esas liras verdes de Góngora ordenadas en el espacio y el tiempo que han marcado el singular paisaje de nuestros valles y riberas, seguirán moviendo sus hojas a nuestro favor. “¿*Verdad, chopo, maestro de la brisa?*”.

He dicho

REFERENCIAS USADAS

CHOPO Y POESÍA

San Juan E. (2014). *Los poéticos álamos...Una lectura de la poesía de Luis de Góngora a través de las representaciones de árboles*. Serenísima palabra. Actas del X Congreso de la Asociación Internacional Siglo de Oro. Venecia, 2014.

Gibson I. (2005). *Chopos y/o álamos*. Columna de El País.

García Lorca, Federico [1932] (1954). *La imagen poética de don Luis de Góngora*. En: Obras completas, vol. 2, Verso. Prosa. Música. Dibujos. Madrid: Aguilar, pp. 1001-1025

CHOPO EN GRANADA: HISTORIA Y BENEFICIOS AMBIENTALES

Pérez, F. (2021). *Choperas Vega de Granada. Pasado, presente y futuro de un cultivo y un territorio sostenibles*. <http://www.choperas-vega-granada.es/>

Consejo Social de la Universidad de Granada (2019). *Beneficios de la bioeconomía del chopo en Granada*. Monografías de Diálogos con la Sociedad.

Martínez A. (2017). *Cambios en la superficie de chopos en la Vega de Granada: impacto en la producción*. Proyecto Fin de Grado. Universidad de Córdoba.

Ocaña, MC. (1972). *El chopo granadino y su aprovechamiento para envases de frutas*. Papeles de Geografía, (4).

MADERA ESTRUCTURAL

Basterra L.A., López G., Vallelado P., García I., Baño V., Moltini G., Cabrera G. (2022). *Aplicación y difusión de la innovación para la promoción de la construcción en altura con madera en el espacio Sudoe. Identificación y análisis*. Fundación Cesefor.

Sebastián D. (2022). *Construir en altura con madera*. <https://construiralturamadera.com/>

FSC España (2018). *En madera, otra forma de construir. El material constructivo sostenible del siglo XXI*.

MADERA TÉCNICA DE CHOPO

Timbolmas C., Bravo R., Rescalvo F., Portela M. (2021). *Transformed-section method applied to multispecies glulam timber beams subjected to pure bending*. Mechanics of Advanced Materials and Structures. <https://doi.org/10.1080/15376494.2021.1985665>

Gallego A., Ripoll M.A., Timbolmas C., Rescalvo F., Suárez E., Valverde I., Rodríguez M., Navarro F.B., Merlo E. (2021). *Modulus of elasticity characterization and structural grading of I-214 young poplar wood*. E. Journal of Wood and Wood Products. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01675-5>

Rescalvo F., Timbolmas C., Bravo R., Valverde I., Gallego A. (2021). Improving ductility and bending features of poplar glued laminated beams by means of embedded carbon material. *Construction and Building Materials*, 304. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124469>

Rescalvo F., Timbolmas C., Bravo R., Gallego A. (2020). *Experimental and Numerical Analysis of Mixed I-214 Poplar/Pinus Sylvestris Laminated Timber Subjected to Bending Loadings*. *Materials* 2020, 13(14), 3134. <https://doi.org/10.3390/ma13143134>

