



# LIFE Lugo + Biodinámico

En la vanguardia del urbanismo sostenible

**BUENAS PRÁCTICAS CONSTRUCTIVAS**

**Orientaciones y  
recomendaciones  
para una  
construcción  
sostenible  
con madera  
contralaminada**



## LIFE Lugo + Biodinámico

En la vanguardia del urbanismo sostenible

**LIFE Lugo + Biodinámico** es un proyecto europeo impulsado por el Ayuntamiento de Lugo, pionero en la planificación ecosostenible en ciudades de tamaño medio, aprovechando el uso de recursos naturales propios y potenciando la economía verde. Entre las medidas a desarrollar figuran la construcción del primer edificio público levantado con madera de Galicia, el diseño del primero barrio multiecológico de España y la elaboración de un catálogo de soluciones urbanísticas sostenibles, exportable a otras ciudades europeas. Además, se crearán espacios divulgativos para la comunidad científica y la sociedad en general con plantaciones de especies arbóreas y arbustos autóctonos que sean demostrativos de su potencial para el desarrollo del urbanismo sostenible.



La madera siempre ha sido un material presente en la construcción, aunque su utilización estructural se ceñía principalmente a forjados y cubiertas en la arquitectura tradicional y a la rehabilitación de edificios históricos. Dados sus beneficios, no hay duda de que la madera será el material de la construcción del futuro, siendo ya en gran parte de Europa el material del presente. El **edificio Impulso Verde** demuestra que la madera también puede ser el presente de la construcción local.

La madera de hoy día tiene ya incorporada una avanzada tecnología que no tenía la madera tradicional. En la arquitectura vanguardista y de diseño de hoy día se utiliza madera de las mayores prestaciones y tecnología.

El **edificio Impulso Verde** ha sido el primer edificio público de Galicia construido con madera contralaminada de pino de Galicia, y el primer edificio en España en obtener la certificación de **Proyecto Completo FSC®**, que acredita que todos los materiales de base forestal del edificio están certificados FSC y provienen de bosques certificados FSC bien manejados y de otras fuentes controladas.



La marca de la  
gestión forestal  
responsable

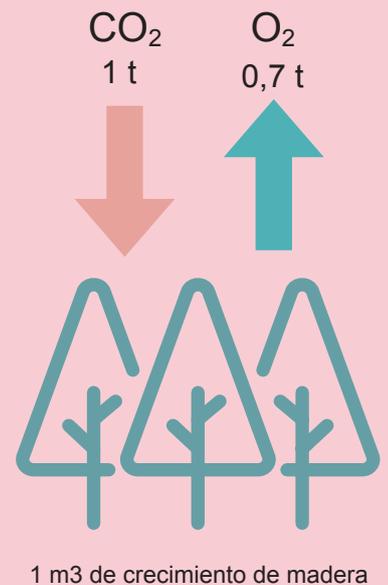


# Porqué construir con madera

## La construcción en madera ayuda a mitigar el cambio

La madera es un **material renovable** que ofrece de manera simple la posibilidad de **minorar las emisiones de CO<sub>2</sub>** (uno de los principales causantes del Cambio Climático) a través de tres efectos:

- Efecto de **sumidero de carbono** de los bosques. Mediante la fotosíntesis, cada m<sup>3</sup> de crecimiento en madera del árbol secuestra aproximadamente 1 tonelada de CO<sub>2</sub>, y emite 0,7t. de O<sub>2</sub>
- Efecto de **almacenamiento de carbono** en los productos de madera. La madera mientras que no se active en ella la orden de extinción que pueden controlar perfectamente los **técnicos con formación, puede durar siglos almacenando CO<sub>2</sub> en su interior** como se ha demostrado en múltiples edificios históricos.
- Efecto de **sustitución de materiales** con alta huella de carbono como el acero, el hormigón o el aluminio.
- La **madera es un material renovable, reciclable y biodegradable, es residuo cero.** Su consumo favorece la explotación forestal local y la protección medioambiental.



## La madera aísla del frío y del calor (Eficiencia térmica)

- **La madera es uno de los materiales más utilizados en la construcción bioclimática y bajo energética**, que busca reducir el consumo de energía y traer beneficios económicos, ecológicos y de confort para los usuarios.
- **La madera proporciona un aislamiento térmico 15 veces mejor que el hormigón, 400 veces mejor que el acero y 1770 veces mejor que el aluminio.** Un tablero de madera de 2,5 cm. tiene mejor resistencia térmica que una pared de ladrillo de 11,4 cm.

Material	Conductividad
Acero	50 W/mk
Aluminio	230 W/mk
Hormigón	2,3-2,5 W/mk
Madera	0,29-0,13 W/mk
Aislamiento	0,03-0,05 W/mk

## Las estructuras de madera trabajan de forma eficaz

- A igualdad de peso, la madera resiste más que el acero y mucho más que el hormigón.
- La ligereza de la madera ahorra costes en transporte, y por tanto reduce emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Admite recuperar tipologías estructurales muy eficientes en consumo de material como arcos entre otras...

## Construcción en seco y rapidez de montaje en obra

El proceso de montaje en seco y con piezas prefabricadas de madera técnica mejora el control en la ejecución y reduce el tiempo de construcción, lo que repercute en una reducción del coste. Se trata de una construcción más limpia, que genera menos residuos y utiliza menos agua.

## Mayor grado de industrialización y precisión

En la actualidad la construcción con madera requiere una mayor definición en la fase de proyecto, ya que del taller salen las piezas con un gran nivel de precisión constructiva, listas para su colocación directa en obra. En general, es necesario disponer de un modelo en 3D en el que se haya tenido en cuenta no sólo la estructura, sino otros aspectos como las instalaciones.



# Qué es el CLT

CLT es el acrónimo de la denominación en inglés *Cross Laminated Timber*, traducido como madera contralaminada.

**El panel contralaminado es un material relativamente reciente que ha revolucionado el mundo de la construcción con madera.** Nació a finales de los 90 y desde entonces ha abierto un nuevo camino a la madera: **la edificación en altura.**

Se trata de un producto estructural de madera que se utiliza tanto para muros como para forjados y cubiertas.

Es un panel compuesto por varias capas encoladas de tabla de madera aserrada con uso estructural, de forma que la orientación de las tablas entre capas varían 90°. La estructura transversal del panel debe ser simétrica y estar compuesta por un mínimo de 3 capas. Hay múltiples composiciones de capas de tablas dependiendo del fabricante.

Se fabrican grandes paneles con dimensiones estándar de 12 m de largo y 3 m de ancho con distintos espesores. Estos grandes paneles son mecanizados mediante equipos que trabajan de forma automática siguiendo un modelo informático 3D dando forma a las distintas piezas que formarán la estructura.

Existen en el mercado diferentes calidades visuales según las necesidades, ya que es un material que puede quedar visto u oculto. Suelen ofrecer tres calidades visuales: vista, intermedia o industrial, y no vista.

En 1990, la Universidad de Graz (Austria), comenzó a investigar intensivamente sobre el CLT y sus características. En paralelo a la actividad universitaria, aparecieron una serie de industrias locales dedicadas íntegramente a la producción de panel contralaminado que, con el paso de los años, fueron aumentando su volumen de fabricación.

Desde entonces la utilización del CLT se ha ido incrementando y extendiendo internacionalmente, especialmente en los países con una construcción más industrializada, hasta crearse una competencia a nivel mundial construir el edificio más alto.



## El CLT en Galicia

**La utilización de los materiales de proximidad es imprescindible para una construcción sostenible.**



Siendo Galicia una potencia forestal, es fundamental fabricar en Galicia madera contralaminada con madera local. Además de aumentar el valor añadido de la madera, se reducen las emisiones generadas por el transporte, ayuda al desarrollo económico sostenible y a la creación de nuevos empleos en el entorno próximo.

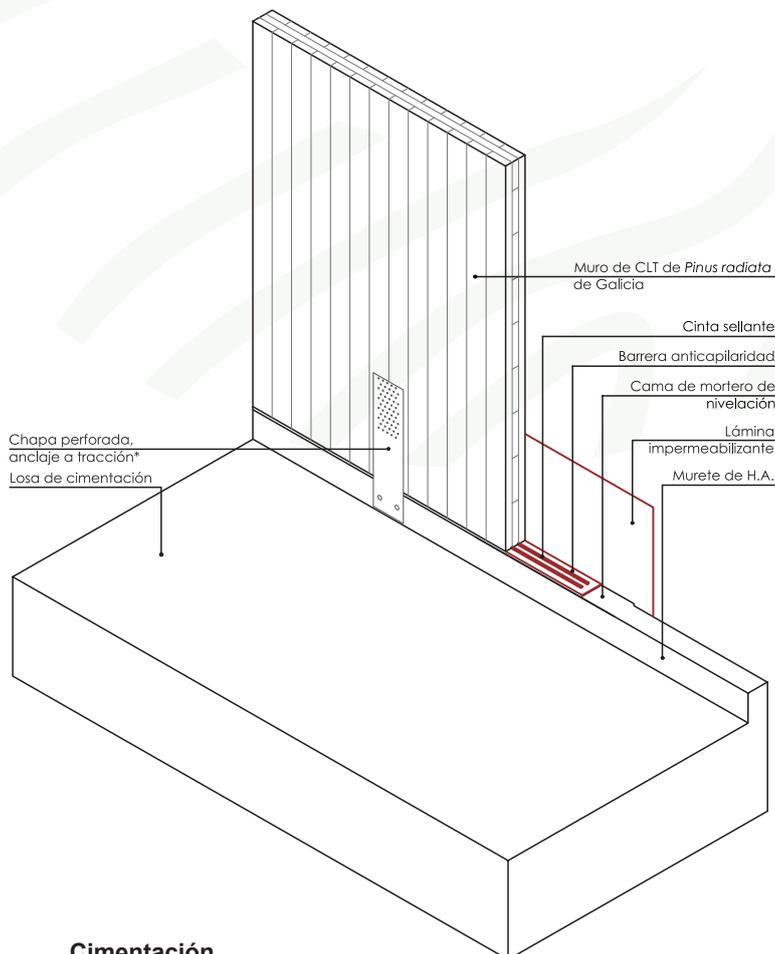
La madera como material heterogéneo tiene características distintas en función de la especie y de la procedencia, de modo que la fabricación de CLT con madera local necesita de cierta investigación y desarrollo para adaptar los procesos de fabricación al material local. **En el Proyecto LIFE Lugo+Biodinámico, la Universidad de Santiago de Compostela a través de la Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural [PEMADE] ha trabajado en el desarrollo y la evaluación de la madera contralaminada con madera local de pino; evaluando la viabilidad del producto con el que posteriormente se construye el edificio Impulso Verde.**

Durante la última etapa del proyecto LIFE Lugo+Biodinámico, un nuevo fabricante (Xilonor) ha abierto la primera planta de madera contralaminada en Galicia, lo que supone una importante demanda de madera local, y un impacto positivo para el sector.

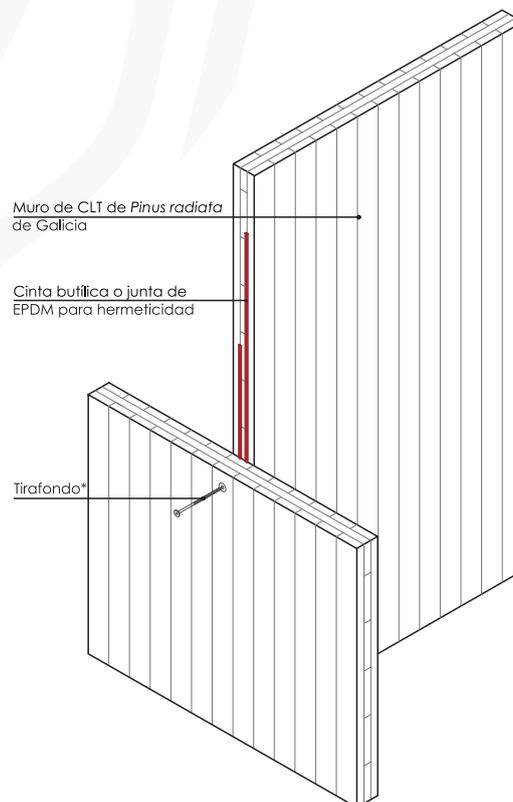


# Construcción con madera contralaminada -CLT-

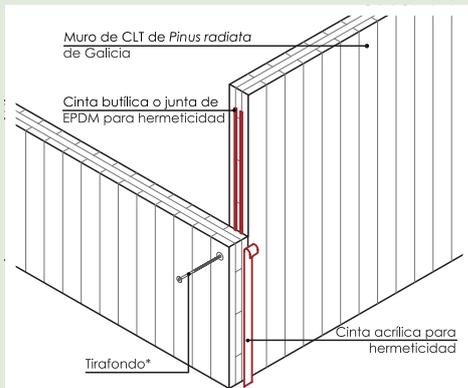
Hay múltiples formas de ejecutar adecuadamente una estructura con panel contralaminado. A continuación se muestran algunos ejemplos de detalles constructivos para una buena práctica constructiva. El objetivo de este material es meramente informativo y divulgativo. Todo proyecto necesita de un estudio pormenorizado por técnicos especializados, que puedan aportar soluciones singulares para casos concretos.



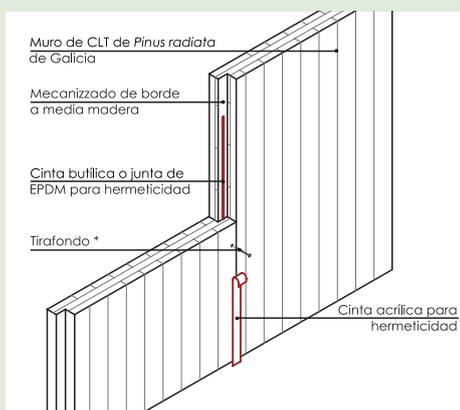
**Cimentación**



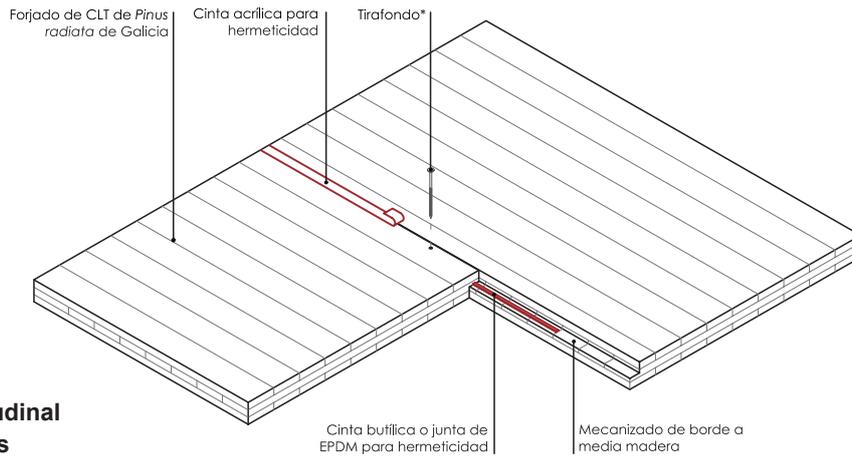
**Unión vertical perpendicular entre dos muros de CLT**



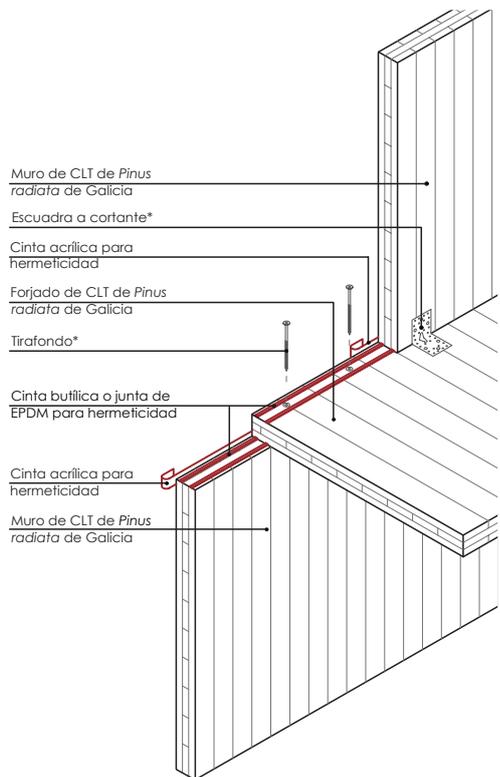
**Unión vertical en esquina**



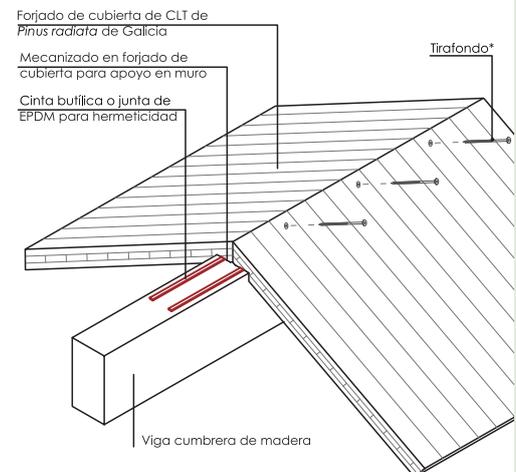
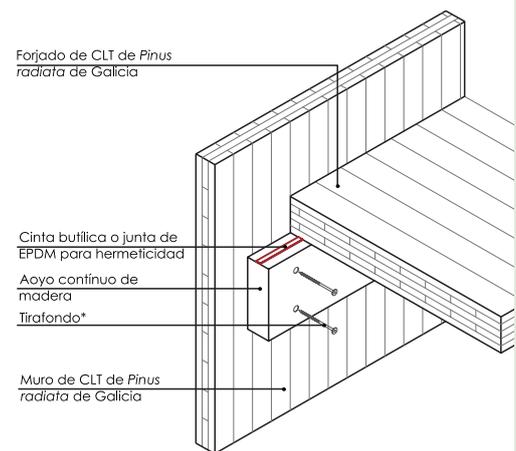
**Unión entre paneles verticales alineados**



**Unión longitudinal  
entre forjados**



**Encuentro entre muros de fachada  
y forjado de planta pasante**



**Encuentro de cumbreira  
entre paneles de cubierta**

# Transporte, recepción y acopio del CLT

Conocer cómo se realiza el transporte es importante para la toma de decisiones en proyecto, permitiendo optimizar las dimensiones para conseguir una construcción más económica. El transporte y el acopio debe ser el adecuado para garantizar el buen estado y comportamiento del producto, permitiendo que cumpla con las funciones para las que ha sido fabricado.

## Aspectos a tener en cuenta durante la fase de proyecto:

- Dimensiones máximas de placas, tanto en longitud como en anchura, por restricciones de fabricación, por restricciones de transporte, y por la implicación económica que ello supone.
- Prever qué modo de manipulación se va a utilizar: taladros para paso de eslingas, tirafondos, anclajes ocultos... Si el CLT queda visto, es importante tener en cuenta la posición de estos elementos.

## Transporte

El transporte más habitual en Europa es por camión. Dependiendo de las **dimensiones necesarias**, deberá elegirse el tipo más adecuado, teniendo en cuenta la **implicación económica que supone los transportes especiales**.

Deberá **preverse cómo se realizará la descarga y montaje en obra**. Si el montaje se realiza directamente desde el camión, el panel más accesible debe ser el primero en colocar en obra y así por orden todo el proceso. Sin embargo, si se prevé el acopio en obra, la carga en el transporte debe ser a la inversa, para que al descargar y acopiar los paneles en obra queden posicionados por el orden en que se colocarán después.



## Manipulación (carga, descarga)

Existen múltiples herrajes en el mercado para la manipulación de los paneles, pero básicamente se pueden clasificar en tres tipos:

- **Mediante lazos de elevación:** la forma estándar de montar elementos para paredes, techos y cubiertas inclinada es poner lazos de elevación de un solo uso de forma visible en la superficie del tablero, dimensionados para la carga a elevar. Esto supone realizar en los paneles taladros de 30mm; en distinto número y disposiciones dependiendo del peso y dimensiones. Cuando el CLT queda visto, una vez colocado se suelen realizar taladros de un diámetro ligeramente mayor (35mm) y disponer un tapón de la misma madera.
- **Mediante tornillo y anclaje:** consiste en un sistema de tornillo y un anclaje de elevación que engancha la cabeza del tornillo. El tornillo debe atornillarse en la dirección de tracción del aparejo de cadenas. Se puede hacer un fresado donde se posiciona el tornillo, para que la cabeza del mismo no sobresalga de la superficie del panel, y así se pueda colocar el tornillo en fábrica. La posición, número y dimensión del tornillo debe estar calculada y dependerá del peso, dimensión y posición del panel de CLT.
- **Medios de elevación incorporados ocultos:** se trata de sistemas que necesitan de un mecanizado previo donde se coloca el anclaje, habitualmente con lazo de elevación de cable de acero.



### Medidas máx. según tipo de transporte y posición horizontal o vertical de los paneles

Tipo transporte	Posición de panel	Largo máx.	Ancho máx.	Alto máx.
Transporte convencional con plataforma carrozada y entoldada	Horizontal	13,50 m	2,40 m	
	Vertical	13,50 m		2,50 m
Plataforma abierta normal	Horizontal	16,00 m	3,00 m	
	Vertical (excep.)	16,00 m		3,10 m
Convoy excepcional (Permisos administrativos y sobrecosto)	Horizontal	17,50 m	3,80 m	
Plataforma abierta cuello de cisne normal	Vertical	11,00 m		3,10 m
Plataforma abierta cuello de cisne de permiso especial	Vertical	14,00 m		3,50 m

## Recepción

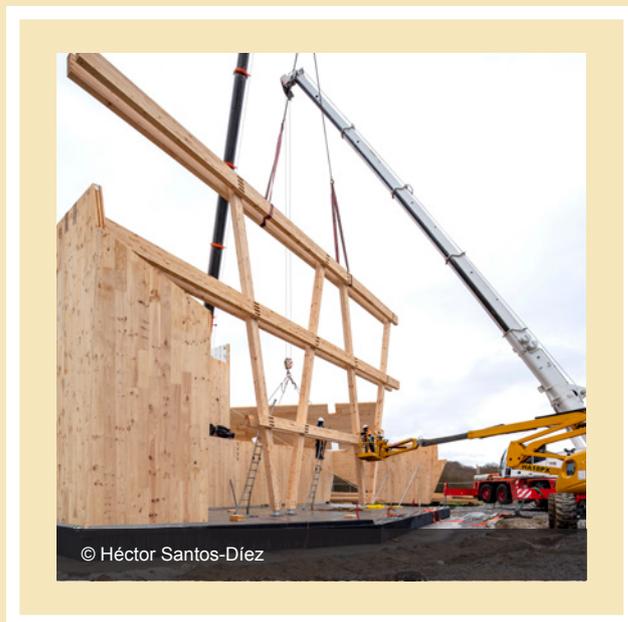
El **contenido de humedad** a la entrega deberá ser del **12% +/- 2%**, medido mediante xilohigrómetro de resistencia inmediatamente tras la recepción. **No se realizará la descarga en el exterior cuando la velocidad del viento sea superior a 50 km/h, y deberá evitar realizarse con lluvia.** Los elementos estructurales se pueden suministrar en obra totalmente plastificados con film, con la protección necesaria para evitar su deterioro en la manipulación y descarga. Todo elemento debe poseer su correspondiente **etiqueta identificativa** para posibilitar el montaje, y donde se especifiquen las características establecidas por la normativa vigente, incluido el tipo de tratamiento. Las **tolerancias dimensionales** deberán ser de: Espesor (h)  $\pm 1$  mm; Longitud (L)  $\pm 2$  mm; Ancho (b)  $\pm 2$  mm (condiciones ambientales estándar: temperatura  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa  $65\pm 5\%$ ).

## Acopio

En caso de no ser viable situar el acopio a cubierto, se debe prever una zona de la parcela para el mismo, con suelo compactado y horizontal. El acopio se debe realizar en **posición horizontal sobre rastreles elevados o espaciadores que faciliten su izado, garantizando que no se produzca aplastamiento en las zonas de apoyo, ni deformaciones superiores a  $L/500$  (apoyos con una separación máxima de 80cm)**. El panel inferior debe estar separado del suelo un mínimo de 30 cm. y bajo los apoyos inferiores se debe disponer una lámina de polietileno en toda la proyección horizontal del acopio. Se deben ordenar apilados de acuerdo con un **plan de colocación**, de modo que se reduzca el número de manipulaciones al mínimo imprescindible. Los **elementos estructurales** deben de mantenerse plastificados con el film de fábrica para **evitar que se mojen**, con especial atención que el plastificado no se haya dañado durante la manipulación. En caso de daño en el plastificado, debe protegerse con una lámina impermeable transpirable garantizando su impermeabilidad, pero permitiendo su transpiración.

## Montaje

Debe seguirse un **plan de montaje** establecido y consensuado con la dirección de obra, que permita la estabilidad del edificio durante la ejecución, y la transmisión de cargas de forma adecuada y prevista en el proyecto.



Se debe evitar la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo, y golpes en el material que puedan afectar a la planeidad de sus caras y la rectitud de sus aristas. Debe prestarse especial atención a las previsiones meteorológicas, de modo que, **ante previsión de lluvia o nieve, se tomen las medidas necesarias para evitar que la madera se moje, y en caso de que suceda, debe de garantizarse la rápida evacuación del agua en las superficies horizontales evitando su encharcamiento.** Han de protegerse especialmente las testas de los elementos, para evitar su absorción. Si bien un humedecimiento temporal no disminuye las prestaciones técnicas del material, en caso de quedar visto el CLT pueden quedar marcas difíciles de eliminar.

# Un nuevo espacio para la ciudad. Eco-Programa

Impulso Verde se convertirá en un nuevo espacio en la ciudad para actividades relacionadas con el medio ambiente y la lucha contra el cambio climático.

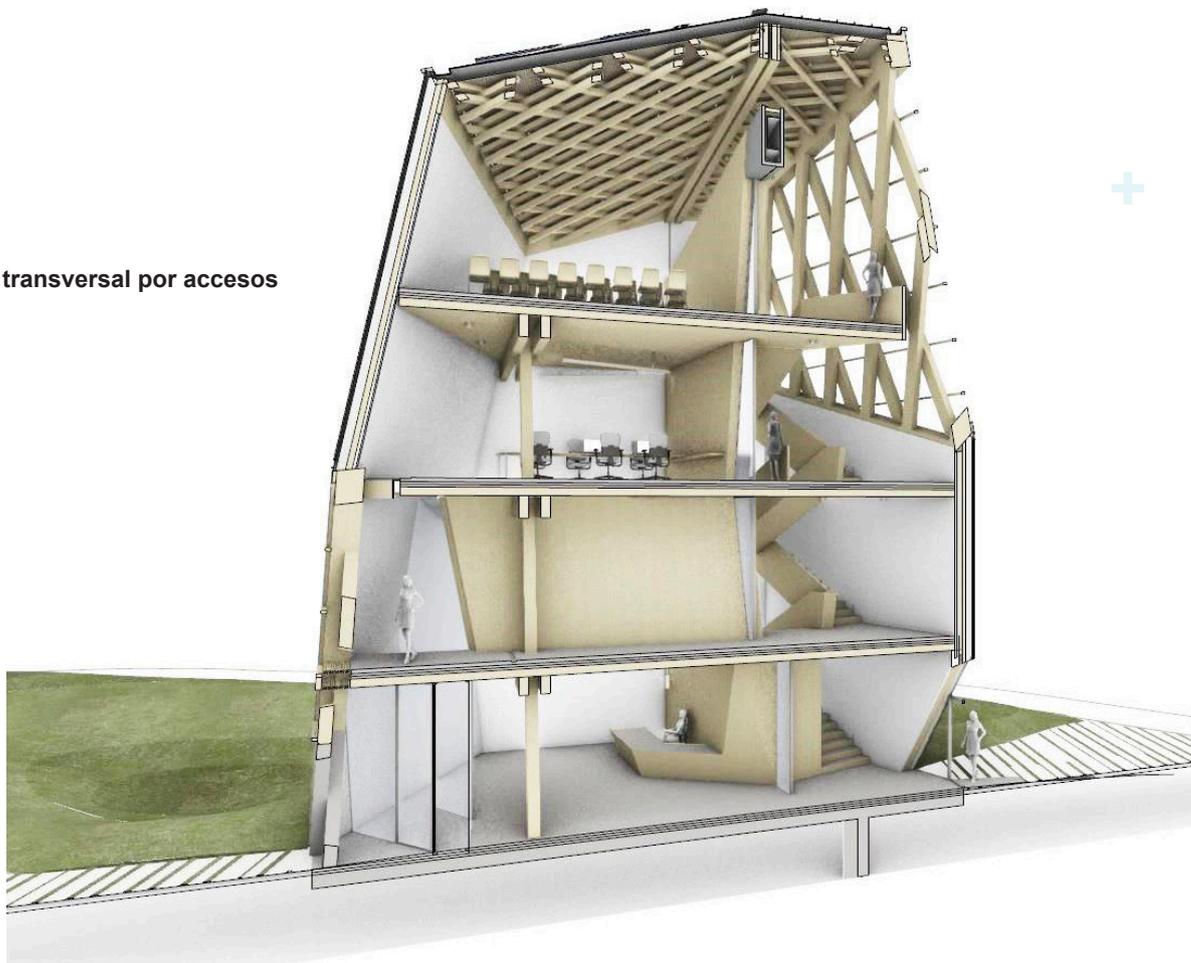
Tiene 18 m de altura y 682 m<sup>2</sup> de superficie construida distribuida en cuatro niveles con el siguiente programa:

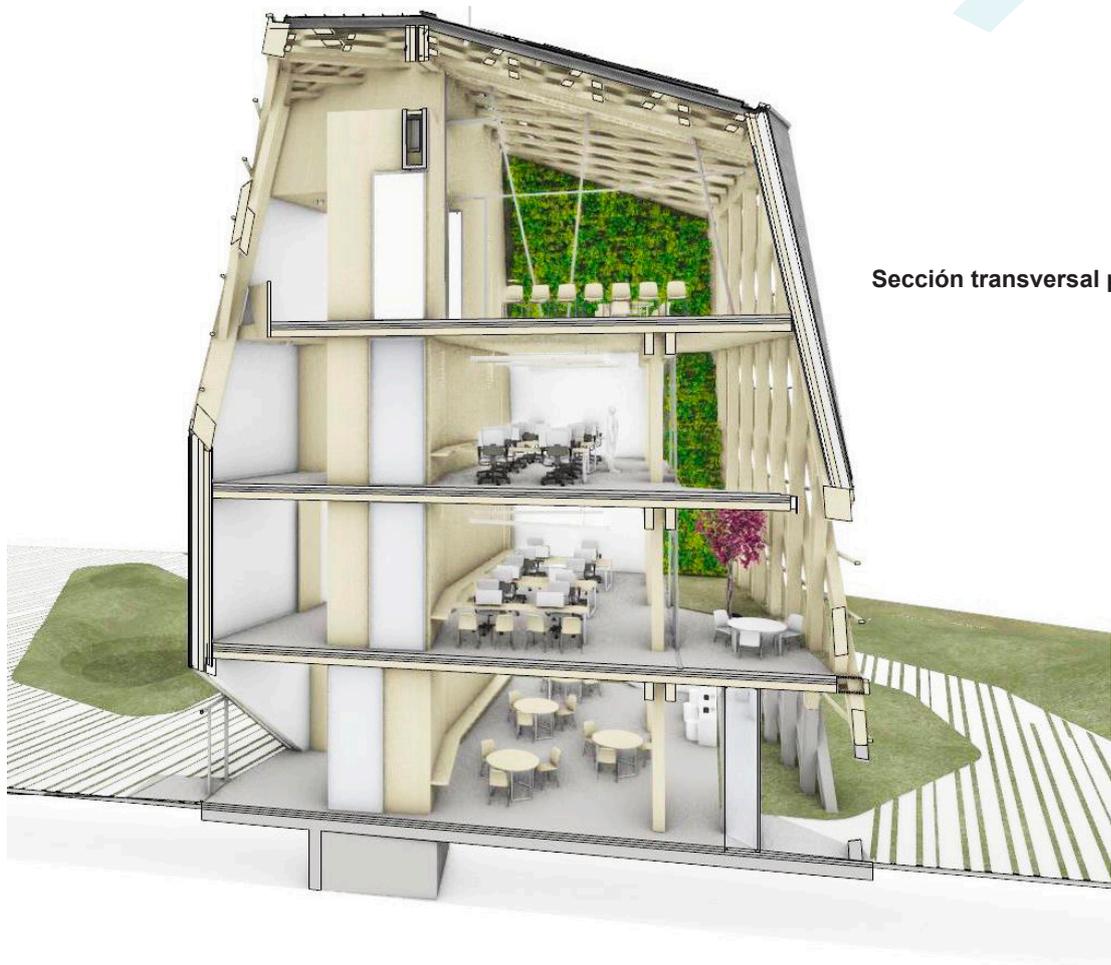
- Planta baja: espacio multiusos para talleres formativos relacionados con el parque, y exposición permanente sobre el jardín educativo y el proyecto LIFE Lugo+Biodinámico.
- Planta primera: servicios municipales y galería con jardín vertical.
- Planta segunda: espacio coworking para empresas jóvenes relacionadas con el medioambiente.
- Planta tercera: Aula de formación medioambiental (también puede funcionar como sala de reuniones) y office-mirador.

El diseño de Impulso Verde trata de poner en valor la madera local a través de la expresión arquitectónica de la estructura del edificio.

Desde el punto de vista espacial, la propuesta tiene como objetivo conectar al usuario con la naturaleza mediante el empleo de la madera como material predominante, y la inserción de una serie de espacios intermedios ajardinados destinados al descanso y la distensión, los cuales constituirán una prolongación del parque exterior en las zonas de actividad.

Sección transversal por accesos





Sección transversal por accesos

# Madera de proximidad. productos tecnológicos para uso estructural

Por su importancia estratégica, el proyecto apuesta por el desarrollo y aportación de valor añadido a un sector clave en el ámbito de la comunidad gallega: el sector de la transformación de la madera. Bajo este objetivo se realiza una apuesta decidida por el uso de madera local a través de su aplicación en productos tecnológicos para uso estructural.

En la construcción del edificio, toda la madera utilizada proviene de la provincia de Lugo. En particular, se han empleado dos de las especies más abundantes en Galicia:

- **Pinus radiata.** Se destina a la fabricación de paneles de madera contralaminada (CLT) que estructuran los forjados y muros del edificio, y en los elementos lineales de madera laminada que conforman el pórtico central y las celosías de fachada.
- **Eucalyptus globulus.** Es una de las tres especies de mayores prestaciones mecánicas con crecimiento en Europa (aproximadamente el doble de resistencia que Pinus radiata), pero su uso habitual es la pasta de papel. La Universidad de Santiago de Compostela y la Universidad Politécnica de Madrid llevan varios años investigando y desarrollando aplicaciones estructurales novedosas con esta especie con el objetivo de dotarla de mayor valor añadido. Para la cubierta del edificio, se ha desarrollado un innovador sistema de celosía estructural de eucalipto laminado.

La madera del edificio supone un secuestro aproximado de 280 t de CO<sub>2</sub>. Teniendo en cuenta este secuestro, junto con las emisiones evitadas al sustituir otros materiales estructurales como el hormigón y el acero, la construcción de Impulso Verde representa un ahorro de 700 t de CO<sub>2</sub> frente a la construcción de un edificio convencional.

Impulso Verde ha sido el primer edificio de España en obtener el certificado FSC® (Forest Stewardship Council) de Proyecto Completo, el cual garantiza que toda la madera utilizada en la obra procede de explotaciones forestales gestionadas con estrictos estándares de sostenibilidad, tanto ambientales como sociales.

> **Vista exterior sur de Impulso Verde tras finalizar el montaje de la estructura**



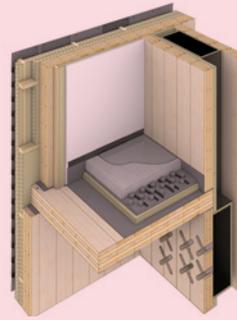
# Prefabricación en madera. Digitalización y personalización

El diseño de Impulso Verde trata de otorgar a la madera local un papel protagonista en la expresión arquitectónica del edificio, más allá de su función meramente sustentante.

El trazado de todas las instalaciones se ha mantenido oculto con el objetivo de priorizar la presencia de la madera y alejarnos de un aspecto industrial.

El uso de elementos estructurales inclinados y de elementos vistos ha permitido poner de manifiesto el potencial de la prefabricación personalizada que ofrece la construcción con madera gracias a las tecnologías digitales.

Varios modelos 3D del edificio, realizados con herramientas de diseño paramétrico y Modelado de Información para la Construcción (BIM), han permitido verificar todos los encuentros y uniones. La incorporación de la instalación de ventilación en el modelo digital permitió controlar las colisiones con la estructura y ubicar con precisión las tomas de impulsión y retorno, realizadas directamente en los paneles de CLT mediante mecanizados en forma de aspas.



> **Detalle del muro técnico con las instalaciones de ventilación y las tomas de ventilación.**

El sistema constructivo propuesto combina muros de carga con pórticos y celosías de gran tamaño, generando un modelo de construcción híbrida que abre nuevas posibilidades en la construcción con madera de media altura. El pórtico central, así como las celosías de cubierta y de fachada norte, fueron montadas fácilmente en el suelo gracias a ensamblajes mecanizados por Control Numérico Computerizado (CNC) y elevadas posteriormente a su posición final mediante una grúa.

El potencial de las herramientas de diseño y fabricación digital han posibilitado una construcción totalmente industrializada, de gran precisión y sencillez constructiva. La totalidad de la estructura de madera ha sido montada en dos meses por un equipo de tres operarios y una grúa.



Pórtico central durante la instalación de uno de los paneles de forjado



Instalación de ventilación en el muro técnico central



Elevación de uno de los módulos de cubierta de eucalipto



Ajuste de la cubierta durante el montaje



Estado de la obra el 22/07/2021.  
Ejecución de la fachada ventilada

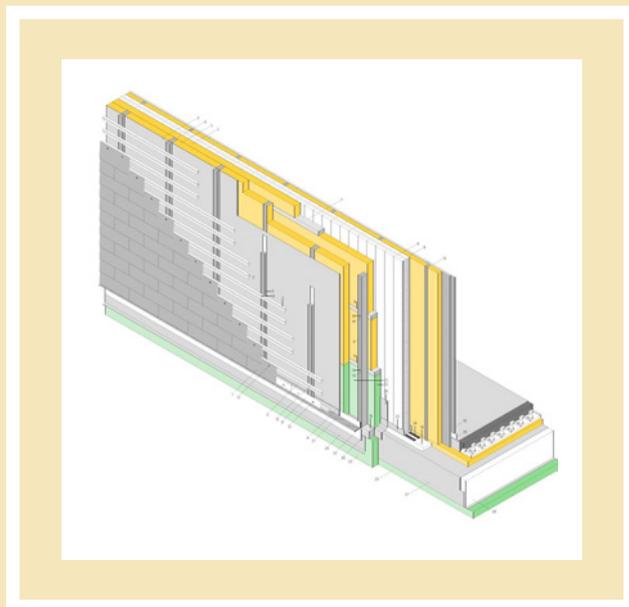


## Envolvente térmica. Estanqueidad y capacidad aislante

La envolvente térmica del edificio se diseña siguiendo criterios de construcción pasiva de alta estanqueidad al aire y elevada capacidad aislante con el objetivo de disminuir de modo considerable la demanda energética de acondicionamiento interior.

La estructura de las zonas opacas de fachada está formada por tableros de CLT de Pinus radiata encintados en sus juntas para conseguir la estanqueidad requerida. Sobre ella se disponen dos familias cruzadas de rastreles de madera de la misma especie y 80mm de canto, la cual sirve de soporte a 160mm de aislamiento térmico de lana de roca y al sistema de fachada ventilada. La disposición cruzada de los rastreles permite minimizar los posibles puentes térmicos debidos a la existencia de la subestructura de madera. Sobre ella se coloca una lámina impermeable al agua y permeable al vapor encintada en todas sus juntas. Por el interior de la estructura de fachada se disponen 60mm adicionales de aislamiento de lana de roca y un trasdosado de doble placa de cartón yeso generando una cámara para el paso de pequeñas instalaciones.

Con la solución empleada, se logran transmitancias térmicas reducidas, en torno a  $0,14\text{W/m}^2\text{K}$ , a la vez que se garantiza la inexistencia de condensaciones intersticiales.



Axonometría constructiva de fachada

Impulsado por:



Concello de Lugo

Financiado por:



Concello de Lugo



DEPUTACIÓN  
DE LUGO

Co-financiado por la Unión Europea a través del Programa LIFE

Socios:



[lugobiodinamico.eu](http://lugobiodinamico.eu)