

# UNA ESCUELA PARA UNA EDUCACIÓN SOSTENIBLE

**Sandra Bestraten Castells**, arquitecta. Profesora ETSAB - Universidad Politècnica de Catalunya, Càtedra UNESCO de Sostenibilitat

**Emilio Hormías Laperal**, arquitecto. Profesor EPSEB - Universidad Politècnica de Catalunya

## La madera contralaminada como solución en la construcción de módulos escolares prefabricados

### Centro de Educación Infantil y Primaria Waldorf-Steiner El Til·ler

Desde 1999, un grupo de maestras iniciaron un trabajo conjunto entre educadoras, madres y padres interesados en dar respuesta a las necesidades vitales de nuestros hijos, acompañándolos en su crecimiento global, para que en el futuro puedan convertirse en ciudadanos con iniciativa propia que actúen de manera constructiva en su entorno. Por estos motivos se escogió la pedagogía Waldorf-Steiner como currículum educativo. En el 2003 se constituyeron como cooperativa de educación. Desde entonces se está trabajando para desarrollar un centro de educación infantil y primaria en el municipio de Cerdanyola del Vallès, Barcelona.

Esta pedagogía tiene como objetivo **educar de manera íntegra, “cabeza, corazón y manos”**, mediante un currículum donde se equilibren las actividades conceptuales (matemáticas, geometría, etc.), las artísticas (euritmia, música, pintura, madera) y las prácticas (jardinería y horticultura ecológica). Se trabaja para ofrecer a los pequeños un desarrollo saludable, disfrutando del aprender y del placer de vivir.

Los principios de esta escuela están vinculados a la organización internacional de escuelas de la UNESCO y de Alliance For Childhood. La dimensión social de esta pedagogía promueve actividades diversas abiertas a la comunidad, a través de conferencias, talleres para adultos, ferias. La web es: [www.escolawaldorf.org](http://www.escolawaldorf.org)

### Módulos escolares sostenibles

La escuela Waldorf-Steiner El Til·ler está ubicada en un edificio existente en Bellaterra donde se albergan los espacios de los cursos de infantil y demás equipamientos del centro.

El proceso de consolidación de la primaria hacía necesario construir 6 aularios adaptados a las normativas vigentes de centros educativos, en un solar colindante a la infraestructura existente. En el momento de hacernos el encargo todos los condicionantes que se marcaron para hacer el proyecto eran realmente restrictivos: tenía que estar ejecutado en 10 meses, ser transportable por si algún día la escuela cambiaba a un nuevo emplazamiento dado que el actual es de alquiler. A la vez, se tenía que cumplir con las exigencias de calidad y acondicionamiento que marca para este tipo de centros el Departamento de Educación de la Generalitat. Por último, el edificio iba a ser costeado por una cooperativa formada por madres, padres y profesores de la escuela, siendo muy importante la limitación económica.

Con todos estos requerimientos previos todo apuntaba a que la única solución pasaba por la realización de los tan habituales módulos escolares prefabricados con sistemas metálicos. Sin embargo, no podíamos construir un edificio que no fuera compatible con los principios pedagógicos de la escuela. Por este motivo, analizando los propios juguetes de madera, las telas, los talleres de plantas nos condujo hacia una solución basada en materiales naturales.

## Prefabricación y sostenibilidad

La industrialización de los procesos constructivos, en un principio, representa una mejora respecto las cualidades sostenibles de un proyecto. La obra en seco permite minimizar el consumo de agua en el proceso de ejecución, reducir los residuos y facilitar el posterior reciclaje. A la vez, los sistemas prefabricados de construcción permiten acortar la planificación propia de las obras con construcción tradicional, mejorando la precisión de ejecución e incluso la seguridad.

La prefabricación modular convencional se resuelve habitualmente con módulos de medida de contenedor, de estructura metálica y cerramientos con materiales sintéticos y de alto impacto ambiental. Tienen unas medidas muy estrictas dadas por el fabricante a las cuales el proyecto tiene que adaptarse.

Si al valor añadido de la prefabricación incorporamos un material con bajo impacto ambiental, como la madera, estaremos dando un paso adelante en la búsqueda de modelos de construcción sostenible.



En el proyecto de construcción de la Escuela de Primaria Waldorf-Steiner El Tiller en Bellaterra (Barcelona), el material escogido es el **panel de madera contralaminada** de la empresa austríaca KLH. Este sistema responde a los **requerimientos propios** de la construcción de módulos escolares prefabricados convencionales:

1. **Industrialización** de casi todos los procesos de obra
2. Las aulas deben ser **transportables, apilables y reutilizables** en otro emplazamiento
3. A pesar de ser una construcción provisional, debe cumplir la normativa vigente de obra nueva garantizando los niveles de **seguridad, durabilidad y confort**
4. La ejecución material de la construcción debe ser muy **rápida**, 3 meses como máximo. Con KLH, el montaje propio de los 3 módulos ha durado 5 días con una grúa y 5 operarios
5. Viabilidad económica, con **precios competitivos** respecto otras soluciones convencionales

Además, la construcción con panel de madera contralaminada aporta nuevos **valores añadidos** a la prefabricación:

1. Los elementos prefabricados no son volumétricos, sino **componentes superficiales**. Esto facilita el transporte puesto que no se transportan volúmenes. Únicamente los lavabos se han transportado montados, permitiendo realizar en taller todos los trabajos de acabados en general.
2. La **libertad** para diseñar la volumetría, superficies y fachadas del módulo permite dar **identidad propia** al edificio y mejorar aspectos vinculados a distribución, dimensiones de los espacios, ventilación e iluminación natural:
  - a. Tener baños adaptados y más lavamanos
  - b. Construir sólo los metros cuadrados necesarios, cosa que reduce los costes (económicos y ambientales)
  - c. Mejorar la **iluminación natural** de las aulas gracias a una distribución libre de las ventanas
  - d. Prescindir del despacho incorporado a los módulos estándar, innecesario para las características del proyecto
  - e. **Mejorar la distribución en planta**, situando las entradas a las aulas de manera más práctica y luminosa. Además se han incorporando más puertas como salida de emergencia
3. Control sobre la **imagen** final del edificio. El resultado arquitectónico huye de la imagen de provisionalidad de los sistemas de prefabricación convencionales y garantiza la durabilidad de la obra nueva
4. **Bioconstrucción**. Utilización de materiales de bajo impacto ambiental, con reducciones importantes de los consumos de CO<sub>2</sub>, reciclables, no contaminantes y también de propiedades más saludables.

## Proyecto de escuela

### Emplazamiento

El proyecto arquitectónico lo conforman 6 aulas en 3 módulos independientes de idénticas dimensiones, que se articulan alrededor de una plaza de 12 x 12 metros. Se trata de un **espacio de encuentro** y de acceso a las diferentes aulas abierto a levante, que hace más agradable su habitual actividad de canto al inicio del día.

La organización del conjunto ha tenido en cuenta las **particularidades de la parcela**, como el respeto a los **árboles existentes** y la adaptación a los desniveles del terreno. Por otro lado, se ha efectuado el levantamiento **geobiológico del terreno**, señalando los elementos donde el campo magnético es más problemático, como son las corrientes de agua subterránea. La distribución del aulario ha evitado la posición de ningún puesto de trabajo cerca de estas geopatías, para evitar afectaciones a sus usuarios.

### Distribución

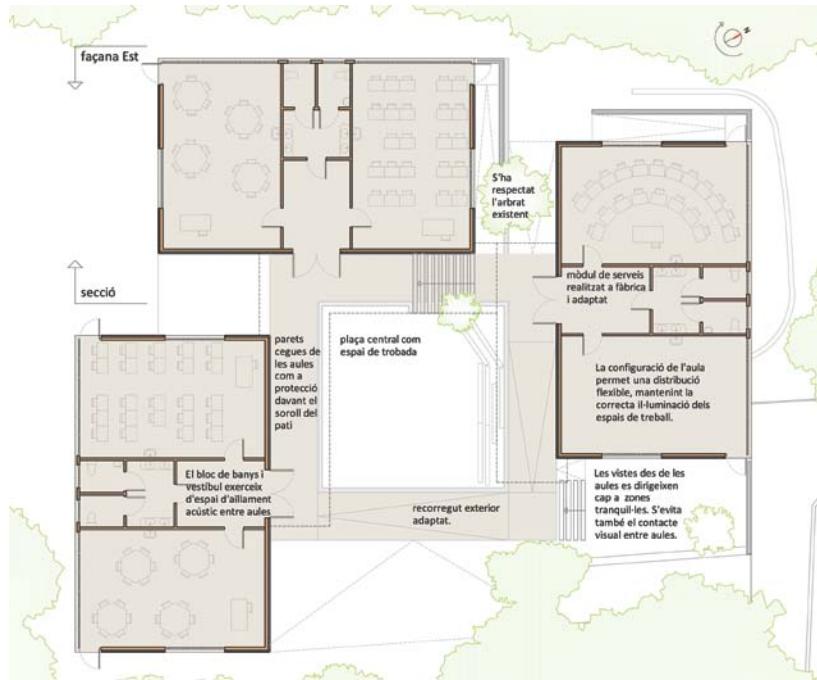
Los **módulos** se articulan de forma independiente, para posibilitar una buena iluminación de las aulas, abriendo ventanas en dos de sus cuatro paredes.

Los aularios están conectados entre sí con un **porche** que aleja el conjunto de la imagen de provisionalidad de los módulos convencionales. La solución constructiva ha permitido adosar a los módulos un gran voladizo de 2,5 metros también de panel de madera contralaminada KLH. De este modo se ha evitado la construcción de cimientos y pilares nuevos para el porche, y por lo tanto, en un futuro se podrá desmontar para su transporte y reutilizar en un hipotético nuevo emplazamiento.





La distribución en cada módulo está pensada para conseguir un ambiente lo más **tranquilo** posible. Las dos aulas están separadas entre sí por los baños y el recibidor, de forma que se evitan al máximo las molestias acústicas. Del mismo modo, la disposición de los módulos y las ventanas evita el contacto visual entre las aulas y el patio, favoreciendo la concentración de los alumnos en clase.



## Los materiales

Los paneles de **madera contralaminada KLH** se elaboran con capas de tablas de madera procedentes de bosques de tala controlada con certificado PEFC. Dada la disposición de las capas en dos direcciones perpendiculares, el panel de madera contralaminada puede transferir cargas en todas las direcciones, en función de las condiciones de apoyo.

### Certificación de la madera

La madera utilizada en la prefabricación ostenta el sello PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification). Este estándar garantiza que la madera procede de bosques de explotación sostenibles.



### Durabilidad y ciclo de vida

Para la producción de la plancha de madera maciza de KLH solamente se usa madera seca con una humedad de madera del 12% (+/- 2%). Con esto y un adecuado detalle constructivo se descarta la presencia de hongos, la actividad de insectos y otros parásitos se reduce a niveles estructural y visualmente insignificantes. Se encola con adhesivo libre de compuestos orgánicos volátiles o formaldehído, de forma que nunca se produce ningún tipo de emisión tóxica. Esta estrategia de durabilidad, permite que al final de su vida útil el material pueda reciclarse sin miedo a la presencia de productos dañinos en la madera, pudiendo incluso volver directamente a la naturaleza sin ningún tipo de impacto de biocidas.

### Sistema estructural

El panel de madera contralaminada es utilizada como elemento estructural tanto en elementos horizontales a flexión, como en elementos verticales a compresión. Cada módulo de aulas está formado por tres crujías, una central de 3 metros que define el vestíbulo de acceso y el baño, y dos crujías a ambos lados de la anterior que albergan las aulas. Las crujías están resueltas con paredes de carga de paneles de madera contralaminada de 128 mm apedadas en el forjado del suelo de planta por 4 perfiles IPE 24 que redistribuyen las cargas sobre dos pozos de hormigón por línea de carga, para minimizar el movimiento de tierras por cimentación.

Los forjados de cada aula están formados por 3 paneles KLH de 8x3m y 182 mm de grosor.

*Esquema del montaje.*



El volumen del baño se monta en fábrica con todos los acabados e instalaciones ya realizados. A su vez, este módulo totalmente prefabricado es el primer elemento del montaje del conjunto como cuerpo rigidizador de las paredes y techos.

La unión en perpendicular entre paneles de madera contralaminada se realiza con unas escuadras estandarizadas de acero galvanizado y tornillería específica de alta resistencia.

### Protección contra incendios

La velocidad de carbonización de la madera según DITE del material 06/0138: **0,76 mm/min**. Para una resistencia al fuego EI 60 se calcula un sobredimensionado de 53 mm de la pieza calculada para cumplir a tensión. Este sobredimensionado permite, a la vez, cumplir con los requisitos de deformaciones máximas. Es decir que de los 128 mm de grosor de las paredes 75mm corresponden a la sección necesaria por cálculo del estado límite último a pandeo en caso de incendio. En el caso de los forjados de grueso total de 182 mm, la sección necesaria por cálculo del estado límite último a flexión es de 129 mm.

Los grosores utilizados en la escuela permiten tener una estabilidad al fuego superior a los **60 minutos**, y una vez transcurrido este tiempo de incendio el edificio continuaría siendo estructuralmente seguro. El comportamiento de los muros y forjados ante el fuego es sensiblemente mejor que la solución convencional de vigas de madera, puesto que estas últimas ofrecen tres caras al contacto con el fuego, mientras que los paneles de KLH sólo una.

### Fachadas

Las fachadas son **ventiladas**, añadiendo aislamiento de lana de roca a la cara exterior del muro de KLH, cámara de aire y un acabado de listones de madera. Las ventanas son también de madera, con vidrios de seguridad, con cámara de aire y de baja emisividad. Se incorporan **protecciones solares** exteriores regulables que permiten el control lumínico y térmico. Todas las fachadas han sido completamente montadas en fábrica.



## Cubierta

La cubierta se compone del panel KLH, aislamiento de fibras de madera (gutex), impermeabilización tipo EPDM y una capa de grava de acabado. Finalmente, se ha mejorado la protección solar con la colocación de palets de madera a modo de pavimento flotante, consiguiendo con pocos recursos que la cubierta quede sombreada, minimizando el sobrecalentamiento en verano.

## Acabados

Se han utilizado **materiales naturales** para todos los acabados: alicatados para los baños, pavimentos de corcho para las aulas y el acabado natural de la madera a las paredes, convenientemente revestida con barniz transpirable, que permite la limpieza de la pared.

## Proyectar con sistemas prefabricados

El sistema de paneles de madera contralaminada permite una completa libertad de diseño, con las restricciones propias de cualquier sistema no prefabricado. A diferencia de los prefabricados de hormigón, no hay que amortizar los costes de ningún molde, y el mecanizado de los cortes no implica sobrecostes ya que forma parte del proceso industrializado del producto.

Sin embargo, como en cualquier sistema prefabricado es básico el rigor en la definición del proyecto con un grado de detalle superior al de un proyecto convencional, especificando con exactitud los encuentros entre piezas, las medidas reales de cada una de las piezas de madera o anclajes a utilizar, todo con el objetivo de optimizar los elementos realizables en taller, y minimizando el trabajo en obra.

## Criterios de sostenibilidad

Se ha evaluado el impacto ambiental que supondría construir un módulo de dos aulas con prefabricado de madera comparado con el equivalente de prefabricado modular metálico convencional.

	Prefabricado metálico	Prefabricado de madera	
Emisiones de CO <sub>2</sub> *	801,89 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	331,56 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	<b>-58%</b>
Consumo de calefacción**	41.34 kWh/m <sup>3</sup> anuales	26.07 kWh/m <sup>3</sup> anuales	<b>-37%</b>
U <sub>G</sub> (aislamiento global)	0.96 W/m <sup>2</sup> °C	0,53 W/m <sup>2</sup> °C	<b>+55%</b>

\* Fuente: Banco de Datos del Institut de Tecnologia de la Construcción ITEC

\*\* Fuente: software Archisun, Universitat Politècnica de Catalunya.

El proyecto ha supuesto una **reducción del 58% de emisiones de CO2 en la construcción**, en parte debido a que la madera es un material que, en su proceso de producción no solamente no emite CO2, sino que lo elimina, convirtiéndolo en oxígeno.

A nivel de climatización, la fachada ventilada, la cubierta y los aislamientos permiten un **ahorro energético del 37%**.



Las protecciones solares exteriores de las oberturas ayudan también a mejorar el comportamiento climático en verano. Desde la misma perspectiva, la disposición de las oberturas permite garantizar la **iluminación natural durante el día**, siendo la luz más agradable para trabajar, ahorrando en consumo de electricidad y garantizando una correcta ventilación cruzada.

El proyecto también incorpora el uso de **energías renovables** con colectores solares en la cubierta para el uso de agua caliente.

En conjunto, este proyecto se presenta como una experiencia sostenible y alternativa a la construcción modular de aularios, y un camino con muchas más posibilidades arquitectónicas para explorar.

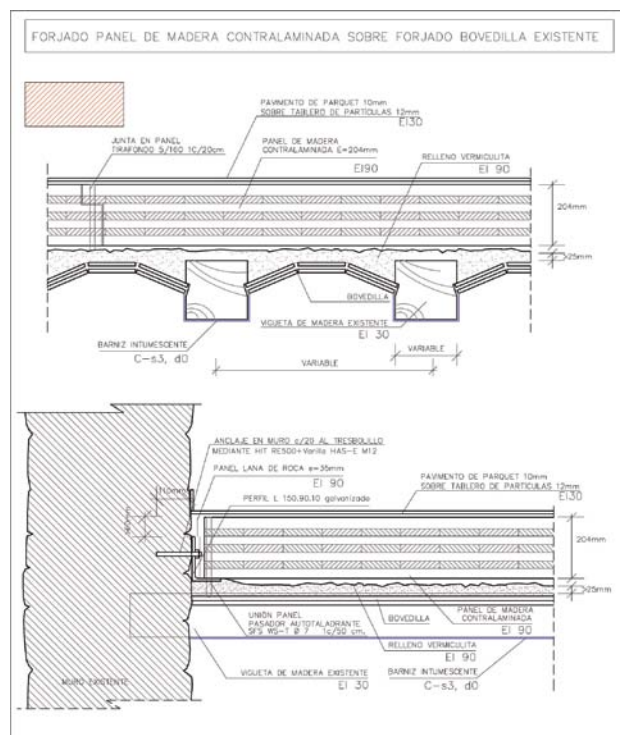
## Rehabilitación y prefabricación: un nuevo camino

El panel de madera contralaminada tiene un gran potencial de aplicación en la rehabilitación de edificios históricos donde los forjados existentes no cumplan las exigencias estructurales de las normativas actuales. El uso de este material tiene una gran ventaja de peso propio respecto a los sistemas convencionales de refuerzo en base a soluciones de hormigón; **la madera pesa 800 kg/m<sup>3</sup> respecto a los 2.500 kg/m<sup>3</sup> del hormigón armado**. Esta reducción drástica del peso de los forjados, hace que el sistema estructural de muros de carga y cimentación no se vean tan sobrecargados y puede llegar a ahorrar refuerzos de la estructura existente.

Otra de las ventajas es la posibilidad de cortar los paneles de madera contralaminada totalmente a medida en fábrica previo levantamiento topográfico exhaustivo. Además si durante el montaje

en obra se detectará alguna irregularidad no reflejada, la madera es fácilmente manipulable en la propia obra aspecto éste que le da un carácter flexible al concepto siempre rígido de la prefabricación. Se prevén unos sistemas auxiliares de montaje para la colocación mecanizada de cada pieza, optimizando mucho la rapidez de ejecución y la seguridad en obra.

Esta solución es especialmente idónea en los forjados de construcción tradicional con viguetas de madera, ya que se añade el mismo tipo de material que el existente, con unos comportamientos ante los cambios de temperatura y de humedad muy parecidos (retracciones y dilataciones). De esta forma se evitan patologías posteriores causadas por movimientos diferenciales.



## FICHA TÉCNICA

### Tipología: Centro de Educación Primaria

Emplazamiento: Bellaterra, Cerdanyola del Vallès (Barcelona)

Superficie construida: 360 m<sup>2</sup>

PEC sin IVA: 500.000 € **1.388 €/m<sup>2</sup>**

Fecha de inicio de obra: mayo de 2008

Fecha final de obra: agosto de 2008

Promotor: La Brúixola Serveis Educatius SCCL.

Escuela Infantil y Primaria Waldorf Steiner "El Til·ler".

Arquitectos: Bestraten Hormías Arquitectura SLP

Sandra Bestraten, arquitecta. Profesora ETSAB - Universidad Politécnica de Catalunya, Cátedra UNESCO de Sostenibilidad

Emilio Hormías, arquitecto. Profesor EPSEB - Universidad Politécnica de Catalunya

[www.bharquitectura.com](http://www.bharquitectura.com)

Módulos prefabricados: KLH [www.klh.at](http://www.klh.at)

Estructura KLH: Miguel Nevado, arquitecto

Instalación madera: Germans Verdaguer

Obra civil: Renfreu

Estructura obra civil: Crespiera Simó Diagonal Arquitectura SLP

Ingeniería: Kalok Empresarial SLP

### Materiales de bajo impacto ambiental:

Madera contralaminada.

Aislamientos de gutex.

Materiales sin toxicidad

### Sistemas de ahorro energético:

Fachada ventilada

Cubierta con aislamiento de gutex (fibras de madera) con protección solar mediante palets.

Iluminación natural en horario lectivo

Sensores que apagan la luz artificial cuando la natural es suficiente.

Ventilación natural cruzada.

Carpinterías de madera y acristalamientos de alta eficiencia

Control solar mediante persianas exteriores orientables.

Agua caliente sanitaria mediante placas solares.