

La madera en envolventes de edificios en el contexto del Pacto Verde europeo

Vanessa Baño
InnovaWood
European Forestry House
66, Rue du Luxembourg
BE-1000, Bruselas, Bélgica
vanesa.bano@innovawood.eu



Uwe Kies
InnovaWood
European Forestry House
66, Rue du Luxembourg
BE-1000, Bruselas, Bélgica
uwe.kies@innovawood.eu



Javier García Jaca
Tecnalia
Área Anardi 5, 20730
Azpeitia, España
javier.garciajaca@tecnalia.com



Julen Astudillo Larraz
Tecnalia
Parque Científico y Tecnológico de Gipuzkoa
Mikeletegi Pasealekua 2 E-20009
Donostia-San Sebastián, España
julen.astudillo@tecnalia.com



La madera en envolventes de edificios en el contexto del Pacto Verde Europeo

1. Introducción

Europa tiene el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en el año 2050 a través de la descarbonización de todos los sectores industriales. El sector de la construcción es el segundo del ecosistema industrial de la UE en términos económicos (Papadaki et al. 2023), y las actividades asociadas al entorno construido (construcción, uso, renovación y demolición) son responsables del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero (European Commission 2020). El modelo actual del sector de la construcción dista mucho de cumplir las iniciativas del Pacto Verde de la UE (*European Green Deal*) para la neutralidad climática en 2050, por lo que es necesario abordar pronto las emisiones asociadas a los materiales y los procesos de construcción (UN 2022). Entre las estrategias clave para contribuir a la disminución de estas emisiones identificadas por Naciones Unidas en el *Buildings and Climate Global Forum* (Andersen and Noronha 2024), se encuentran: 1) dar un giro al uso de materiales de construcción bio-basados, como es el caso de la madera, que podría llegar a ahorrar el 40% de las emisiones a 2050 en algunas regiones; y 2) introducir la circularidad en la economía, con el fin de disminuir la extracción y producción de nuevas materias primas. La circularidad aplica no sólo a los materiales, sino también a los edificios. La renovación de edificios existentes genera un 76% menos de emisiones que la nueva construcción.

Aunque es cada vez más habitual el uso de madera como elementos estructurales en los edificios, como son las vigas de madera laminada o los paneles de madera contralaminada, el uso de madera y de productos derivados de madera en fachadas es todavía bastante novedoso, aunque en España, hay ya algunas empresas especializadas en cerramientos y fachadas industrializadas de madera. El presente documento tiene como objetivo mostrar las oportunidades que supone el uso de madera y productos derivados de la madera en la construcción de cerramientos de edificios, tanto en obra nueva como en el caso de renovación energética de edificios existentes. Para ello, se expondrán los casos de estudio de dos proyectos de innovación financiados por la Unión Europea, el proyecto BASAJAUN (www.basajaun-horizon.eu) sobre construcción sostenible con madera para el desarrollo rural y la transformación urbana (EC 2019), y el proyecto AEGIR (www.aegirproject.eu) sobre el desarrollo modular e industrializado de envolventes para la renovación energética de edificios (EC 2022a), ambos liderados por Tecnalia.

2. Políticas europeas que afectan a la construcción con madera

En los últimos años, la Comisión Europea y los gobiernos nacionales han puesto en marcha numerosas iniciativas que repercuten en el sector de la construcción y del entorno construido.

La **New European Bauhaus (NEB)** o Nueva Bauhaus Europea (EC 2021a) trata de conectar el Pacto Verde Europeo con los espacios en los que vivimos, promoviendo la creación de lugares, productos y formas de vida bellos, sostenibles e inclusivos (los tres valores fundamentales de la NEB), y conectando la innovación y la tecnología con las artes y la cultura. Trata de actuar tanto sobre la sociedad como sobre diversos sectores de la economía, como son la construcción, el mobiliario o la moda a través de procesos de co-creación participatorios, transdisciplinarios y con un compromiso a varios niveles (los tres principios fundamentales de la NEB). Los productos de madera para uso en construcción que procede de bosques gestionados cumplen de forma natural con los valores de belleza

y sostenibilidad y conecta a diferentes sectores (forestal, industrial, construcción, etc.) para trabajar de forma colaborativa. Fomentar el uso y generar conocimiento sobre los productos de madera permiten almacenar carbono durante un período largo de tiempo, como son los elementos estructurales, de cerramiento o de aislamiento para edificios, según los valores y principios de la NEB es uno de los objetivos de la **Wood4Bauhaus Alliance** (www.wood4bauhaus.eu).

La revisión **Construction Products Regulation (CPR)** o el Reglamento de Productos de la Construcción (EC 2022b) tiene entre uno de sus principales objetivos materializar las prioridades de la transición ecológica y digital y la seguridad de los productos de la construcción. Los métodos actuales de evaluación de los productos no permiten establecer requisitos de producto medioambientales, funcionales y de seguridad. La revisión del CPR tiene entre uno de sus fines el incentivar la demanda de productos de construcción que sean bajos en carbono y que almacenen carbono, como es la madera, con información coherente y transparente sobre el comportamiento climático, ambiental y sostenible de los productos de construcción, así como regular su durabilidad o reparabilidad. El reglamento revisado intenta además solventar los límites actuales de definición de requisitos nacionales para los edificios o de incluir en la contratación pública criterios de sostenibilidad.

La **Renovation Wave** o la Oleada de Renovación para Europa (EC 2020b) trata de renovar y hacer más ecológicos los edificios, crear empleo y mejorar el estilo de vida de sus ocupantes. Actualmente el 85% de los edificios de Europa se construyeron antes del 2001 y la mayoría no son energéticamente eficientes. La eficiencia energética de los edificios es clave para conseguir en el 2030 la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la UE en un 55% con respecto a 1990 (EC 2020a). Actualmente, sólo el 11% de los edificios de la UE son objeto de algún grado de renovación anual, mientras que las renovaciones profundas que reducen el consumo de energía en al menos un 60% son sólo el 2%. El objetivo de esta ley es el de duplicar la tasa anual de renovación de los edificios de aquí a 2030, es decir, la renovación de 35 millones de edificios entre 2020 y 2030, para que sean más eficientes energéticamente de manera asequible, integrando energías renovables, siendo eficiente en los recursos y usando materiales que puedan almacenar carbono como la madera.

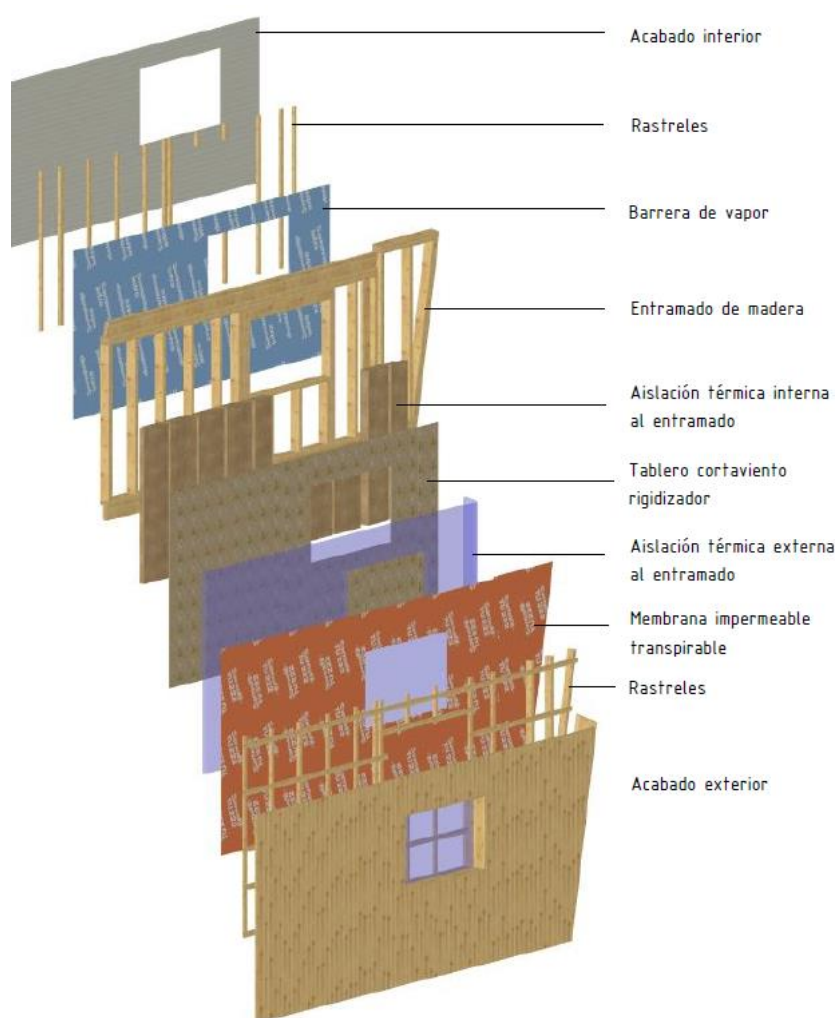
La revisión de la Directiva de la **Building Energy Efficiency** o Eficiencia Energética de los Edificios (EC 2021b) da continuidad a la estrategia de la *Renovation Wave* y propone normas mínimas de eficiencia energética obligatorias con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los edificios y su consumo de energía final a 2030 y lograr un parque inmobiliario de cero emisiones a 2050. Entre los objetivos específicos se encuentran el de aumentar la tasa y la profundidad de las renovaciones de edificios, mejorar la información sobre su eficiencia energética y la sostenibilidad de estos y garantizar que todos los edificios se ajusten a los criterios de neutralidad climática a 2050.

3. Oportunidades de la construcción con madera

La actual crisis ambiental y energética y sus políticas derivadas están llevando a un nuevo interés en el uso de materiales sostenibles para diferentes tipos de aplicaciones en edificios debido a sus propiedades ambientales, estructurales y de aislamiento térmico o acústico. La madera se utiliza habitualmente en vigas, muros y otros sistemas estructurales, pero también en envolventes de fachada con capacidad aislante, en carpintería, suelos o muebles (Asdrubali et al. 2017). El uso de madera en edificación no sólo puede reducir la huella de carbono asociada a la fabricación de los materiales de construcción más comunes, como el hormigón, sino que también presenta la posibilidad de almacenar carbono durante su vida útil. El volumen de madera incluido en un edificio puede dar una idea de su potencial de almacenamiento de carbono. En el caso de los elementos estructurales, el volumen de madera en edificios de mediana altura en la región suroeste de Europa es de 0,3 m³ por m² de edificio construido, con ratios entre 0,3 y 0,4 m³/m² para la mayoría de los edificios analizados (Basterra et al. 2023). Pero no sólo los elementos estructurales

pueden almacenar carbono. Un análisis realizado sobre viviendas unifamiliares y edificios de varias viviendas en Alemania demostró que la construcción con madera es más eficiente desde el punto de vista del uso de recursos que los edificios de materiales minerales y muestra la oportunidad de los cerramientos y aislantes de madera y los materiales de aislamiento en incrementar la sostenibilidad de los edificios (Krause and Hafner 2022).

Las fachadas de madera pueden considerarse portantes (Ilustración 1) cuando soportan la carga de los pisos superiores o de la cubierta, no portantes (Ilustración 2), cuando la carga es soportada por elementos estructurales independientes y la fachada actúa simplemente como un cerramiento del edificio, o del tipo fachada ventilada o envoltente cuando se coloca sobre un cerramiento existente con el fin de conferir mejoras energéticas y/o estéticas al edificio. La Ilustración 1 muestra los componentes y tipos comunes de aislamientos de madera en una fachada portante de entramado ligero de madera. El aislamiento de celulosa se fabrica a partir de papel de periódico reciclado, mientras que los aislamientos de fibra de madera se fabrican a partir de un proceso en que la madera se descompone mediante vapor y tratamiento mecánico en fibras individuales, que posteriormente se procesan para conformar los paneles rígidos o flexibles.



a) Componentes del cerramiento



b) Cerramiento portante



c) Aislamiento rígido



d) Aislamiento de celulosa



e) Aislamiento rígido

Ilustración 1: Componentes comunes de un cerramiento portante de entramado ligero de madera y tipos de aislamientos de madera (Baño et al. 2022)



Ilustración 2: Cerramiento no portante en el edificio Wood' Art-La Canopée en Toulouse, Francia (Basterra et al. 2021)

4. Componentes basados en madera en cerramientos de edificios. Caso de estudio del proyecto BASAJAUN

El proyecto Basajaun (www.basajaun-horizon.eu), financiado por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea, tenía entre sus objetivos principales el desarrollo de innovaciones basadas en madera para su uso en construcción. El diseño de los materiales, productos, sistemas constructivos y componentes fue realizado mediante un proceso de co-creación de acuerdo con los criterios de la *New European Bauhaus*. Parte de las innovaciones fueron implementadas en el edificio demostrador de nueva construcción que servirá como residencia de los profesores de un complejo educativo en la ciudad de Le Pian-Médoc, cerca de Burdeos en el departamento de La Gironde. La ilustración 3 muestra el edificio demostrador, con estructura de madera laminada encolada provista por Moelven (Suecia), en el que se han implementado algunos de los materiales, productos y sistemas en base a madera desarrollados en el proyecto, resumiendo a continuación algunos de los que son posible utilizar en fachadas.



Ilustración 3: Edificio nuevo construido con los productos desarrollados en el proyecto Basajaun. Fuente: FCBA®

4.1. Aislante de espuma de madera

El VTT (Finlandia) desarrolló un nuevo material de aislamiento térmico a base de fibras de madera CTMP (*Chemo-TermoMechanical*

Pulp) producido mediante tecnología de formación de espuma. En el proceso, las fibras de madera, el agua y el agente espumante se mezclan mecánicamente para generar la espuma, con un contenido de aire que oscila entre 50-70%. A partir de los ensayos de laboratorio realizados para caracterizar y validar su uso como aislante, se obtuvo que su densidad (44 Kg/m^3) es ligeramente menor que la de aislamientos de fibra de madera comerciales y con propiedades de conductividad térmica (38 mW/mK) y comportamiento a fuego (Euroclase E) muy similares. El panel aislante fue ensayado en el edificio demostrador Kubik, en las instalaciones de Tecnalia en Azpeitia.

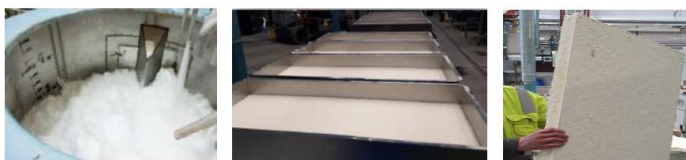


Ilustración 4: Proceso de fabricación del aislante de espuma de madera

4.2. Paneles SIP

Garnica (España) desarrolló los paneles aislantes estructurales (*Structural Insulation Panels, SIP*) denominados G-Brick-Eco, con dos tipos de capa interior de aislamiento: la espuma de madera desarrollada por VTT y un aislante de fibra de madera de SOPREMA (UK). El primero se probó a escala de laboratorio, mientras que los segundos fueron los implementados en el edificio. Las capas exteriores fueron realizadas con tablero contrachapado de pino radiata del País Vasco. Con el fin de

Vasco. Con el fin de mejorar el comportamiento estructural de los paneles, se colocaron nervios de madera perpendiculares a las capas externas.



Ilustración 5: Paneles SIP con aislante de espuma de madera (Jancke, Grosse, Kuijl, and Albiñana 2023)

4.3. Muro cortina de bio-composite

El sistema de fachada desarrollado por Focchi (Italia) es una envolvente no estructural modular para edificios formada por: i) una pantalla contraincendios en la cara interior de contrachapado, ii) perfiles interiores de biocomposite desarrollados en base a bio-resina y fibras de madera y de vidrio, y iii) un cerramiento exterior de madera formado por un panel contrachapado o *plywood* y laminas de mader maciza. El sistema presenta un alto rendimiento térmico de

$0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ para las fachadas opacas y $0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ en las unidades con ventanas.

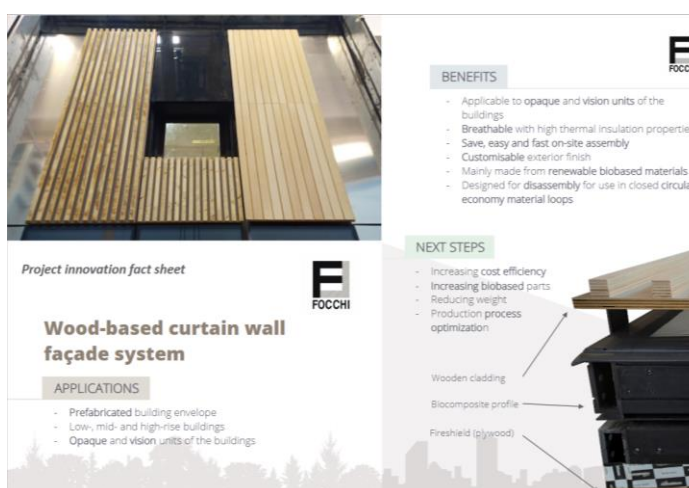


Ilustración 6: Sistema de muro cortina en base a madera (Jancke, Grosse, Kuijl, Vandi, et al. 2023)

5. Envoltentes para la rehabilitación energética de edificios existentes. Caso de estudio del proyecto AEGIR.

El proyecto AEGIR (www.aegirproject.eu), financiado por el programa Horizon Europe de la Unión Europea, da un paso más en el diseño de cerramientos de edificios para cumplir con las políticas europeas presentadas en el capítulo 2. Su objetivo principal es el desarrollo de envoltentes modulares e industrializadas para la rehabilitación energética de edificios que integren las funciones de aislamiento térmico y acústico, pero que además incluyan soluciones de generación y almacenamiento de energía renovable.

Para ello, se están diseñando cuatro tipos de envoltentes de renovación diferentes, de modo que puedan responder a las necesidades de distintas tipologías de edificios, zonas climáticas, estratos sociales y preferencias de los inquilinos. Están preparadas para adaptarse a edificios nuevos o existentes en toda Europa y combinan un paquete de soluciones que incluye: 1) ventilación mejorada, con conductos de aire conectados a una bomba de calor central y ventanas inteligentes; 2) aislamiento térmico y acústico de base bio algunos derivados de la madera; 3) sistemas de perfiles y revestimientos de bio-compuestos derivados de madera; 4) generación de energía renovable, mediante sistemas de paneles fotovoltaicos comunes y flexibles; y 5) tecnologías de almacenamiento eléctrico, en base a baterías de segunda vida. La ilustración 7 muestra los principales componentes de los cuatro diferentes tipos de paquetes de fachada a desarrollar.

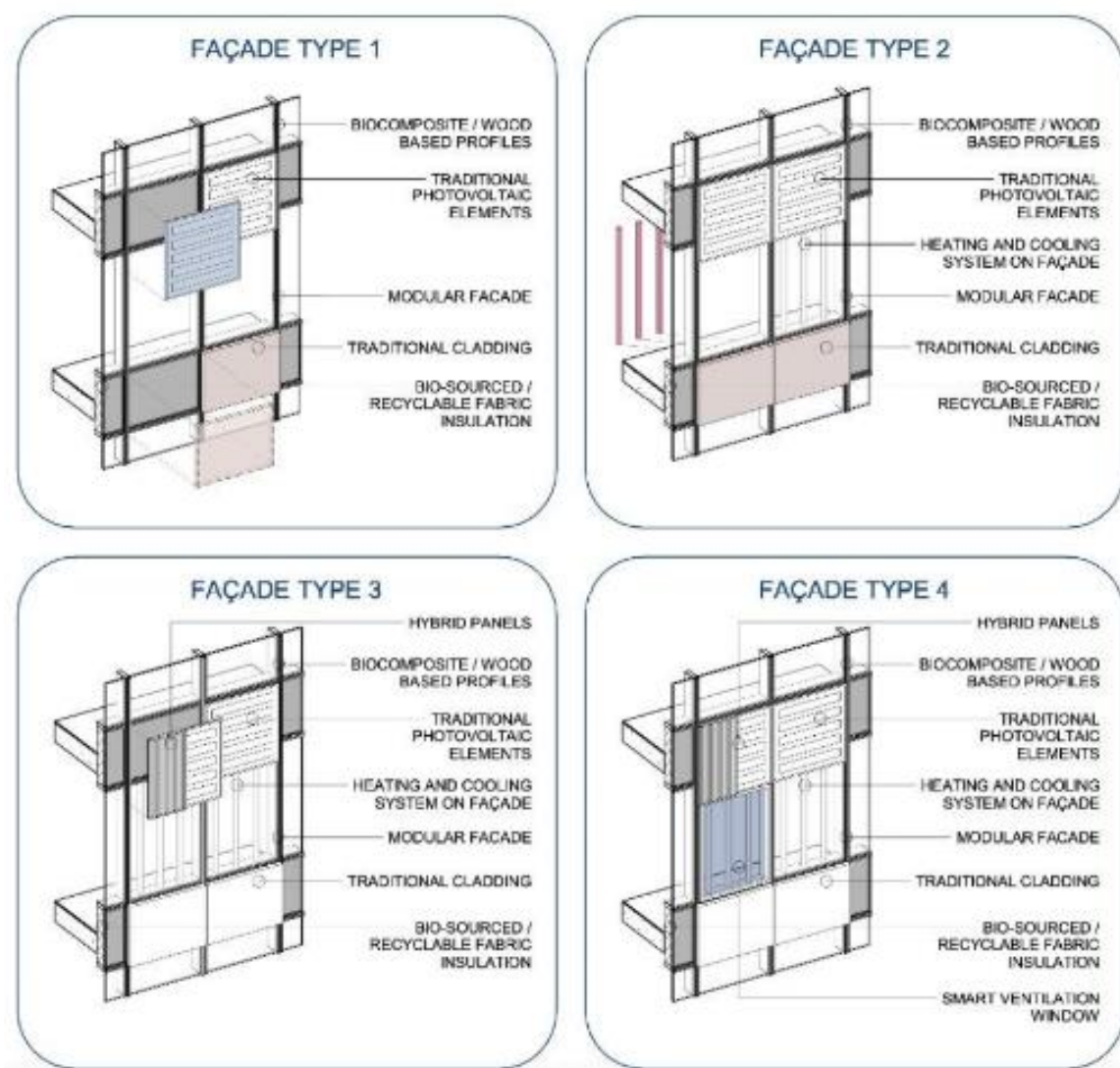


Ilustración 7: Componentes de los cuatro diferentes tipos de fachada a desarrollar (Jay and Astudillo 2023)

La solución física consiste en una envoltente de fácil instalación en las fachadas de edificios existentes, que no requiere de una intrusión en las viviendas. La ilustración 8 muestra la integración de los componentes en un módulo tipo.



Incremental
Renovation
Package

AEGIR



Ilustración 8: Esquema de uno de los módulos de fachada y su implementación en el edificio (UNStudio®)

El proceso de fabricación de la envoltente será de bajo consumo energético y baja huella de carbono y se utilizarán diferentes tecnologías digitales (BIM, realidad aumentada, gemelos digitales, etc.) para mejorar el diseño, la obra de rehabilitación, la gestión y el rendimiento del paquete de renovación en los edificios. Las soluciones se implementarán en cuatro edificios reales: una escuela en España (Ilustración 9), dos edificios residenciales, uno en Francia y otro en Dinamarca, y una vivienda unifamiliar en Rumanía.



Ilustración 9: Edificio demostrativo en Malgrat de Mar: estado actual (izda.) y render de la renovación (dcha.). Fuente: UNStudio®

6. Conclusiones

La madera, en sus diferentes formatos, tanto madera sólida como fibras de madera o materiales derivados de sus componentes químicos, presenta una oportunidad como material sostenible, renovable y con capacidad de almacenamiento de carbono para su uso en el sector de la construcción.

La madera se encuentra de forma cada vez más habitual como material estructural (vigas, pilares, muros) en los edificios, pero no es todavía tan habitual encontrarla formando parte de las fachadas y de los materiales de aislamiento.

Las fachadas de madera o de componentes derivados de la madera, colocadas tanto como cerramiento de obra nueva como en forma de envolventes en la renovación de edificios existentes, permite cumplir de forma excelente con los requerimientos de la políticas e iniciativas europeas (Ola de renovación, Eficiencia energética de los edificios, nuevo Reglamento de los productos de la construcción, y la *New European Bauhaus*).

Las innovaciones sobre fachadas de madera desarrolladas en el proyecto BASAJAUN alcanzaron diferentes niveles de desarrollo tecnológico (TRL), alguno de ellos muy cercano a la puesta en el mercado de forma comercial: el aislante de espuma de madera alcanzó un TRL 6 (tecnología demostrada en ambiente relevante), el sistema de cerramiento de fachada alcanzó un TRL 7 (prototipo del sistema demostrado en un ambiente operacional), y los paneles SIP un TRL 8 (sistema completo y cualificado). El sistema de envoltorio de edificios del proyecto AEGIR tendrá también como objetivo alcanzar un TRL cercano a la puesta comercial en el mercado por parte de los socios del proyecto o de inversores externos.

Agradecimientos

Los proyectos han recibido financiación del programa de investigación e innovación *Horizon* de la Unión Europea en virtud de los acuerdos de subvención No. 862942 y No.101079961. La información refleja únicamente las opiniones de los autores y ni la Agencia ni la Comisión son responsables del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

Referencias bibliográficas

- Andersen, Inger, and Ligia Noronha. 2024. "Building a Better Future through Material Efficiency." <https://www.unep.org/news-and-stories/speech/building-better-future-through-material-efficiency>. March 7, 2024.
- Asdrubali, F, B Ferracuti, L Lombardi, C Guattari, L Evangelisti, and G Grazieschi. 2017. "A Review of Structural, Thermo-Physical, Acoustical, and Environmental Properties of Wooden Materials for Building Applications." *Building and Environment* 114: 307–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.033>.
- Baño, Vanesa, Gonzalo Cabrera, Gonzalo Moltini, Roberto Alfonso, Clara García, and Daniel Godoy. 2022. *ENTRAMADO LIGERO. Diseño, Cálculo y Construcción de Una Vivienda de Madera / "Light Framing. Design and Construction of a Timber Dwelling."* Edited by CeseFor. 1st ed. ISBN: 978-84-7359-961-0. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7692536>.
- Basterra, Luis-Alfonso, Vanesa Baño, Gamaliel López, Gonzalo Cabrera, and Patricia Vallelado-Cordobés. 2023. "Identification and Trend Analysis of Multistorey Timber Buildings in the SUDOE Region." *Buildings* 13 (6): 1501. <https://doi.org/10.3390/buildings13061501>.
- Basterra, Luis-Alfonso, Vanesa Baño, Gamaliel López, Patricia Vallelado, Isabel García, Gonzalo Moltini, and Gonzalo Cabrera. 2021. *APPLICATION AND DISSEMINATION OF INNOVATIVE SOLUTIONS FOR THE PROMOTION OF MID-RISE TIMBER CONSTRUCTION IN THE SUDOE AREA. Identification and Analysis*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7692174>.

- EC. 2019. "H2020 No.862942. BASAJAUN: Building a Sustainable Joint between Rural and Urban Areas through Circular and Innovative Wood Construction Value Chains." <https://cordis.europa.eu/project/id/862942>. 2019.
- EC. 2020a. *COM(2020) 562. The 2030 Climate Target Plan. European Commission*. Brussels.
- EC. 2020b. *COM(2020) 662. A Renovation Wave for Europe. European Commission*. Brussels, Brussels. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0638aa1d-0f02-11eb-bc07-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF.
- EC. 2021a. *COM(2021) 573. New European Bauhaus. European Commission*. Brussels.
- EC. 2021b. *COM(2021) 802. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance on Buildings. European Commission*. Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN>.
- EC. 2022a. "HE No.101079961. AEGIR: Digital and Physical Incremental Renovation Packages/Systems Enhancing Environmental and Energetic Behaviour and Use of Resources." <https://cordis.europa.eu/project/id/101079961>. 2022.
- EC. 2022b. *COM(2022) 144. Harmonised Conditions for the Marketing of Construction Products, Amending Regulation (EU) 2019/1020 and Repealing Regulation (EU) 305/2011. European Commission*. Brussels. <https://www.consilium.europa.eu/media/41508/st14523-en19.pdf>.
- EC. 2020. "In Focus: Energy Efficiency in Buildings." European Commission. Brussels.
- Jancke, Oliver, Charlotte Grosse, Florence Kuijl, and Juan Albiñana. 2023. "Garnica - G-Brick-Eco." Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7538723>.
- Jancke, Oliver, Charlotte Grosse, Florence Kuijl, and Antti Oksanen. 2023. "VTT - Wood Pulp Panels." Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7538581>.
- Jancke, Oliver, Charlotte Grosse, Florence Kuijl, Laura Vandt, and Alessandro Pracucci. 2023. "Focchi - Wood-Based Curtain Wall Façade System." Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7538696>.
- Jay, Arnaud, and Julen Astudillo. 2023. "Deliverable D2.1. Requirements and Specifications of the AEGIR Solution." Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8239043>.
- Krause, Karina, and Annette Hafner. 2022. "Resource Efficiency in the Construction Sector: Material Intensities of Residential Buildings—A German Case Study." *Energies* 15 (16). <https://doi.org/10.3390/en15165825>.
- Papadaki, Ilektra, Philippe Moseley, Pieter Staelens, Roman Horvath, Oscar Nieto Sanz, Marina Lipari, Pablo Gutierrez Velayos, and Heikki Vaananen. 2023. "Transition Pathway Construction." <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/53854>.