ISSN 2215-5910
Investigación

USO INNOVADOR Y SOSTENIBLE DE LA MADERA EN ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA: EL CASO DE LA FUNDACIÓN LOUIS VUITTON

Recibido: 5 mayo, 2025 • Revisado: 19 de junio, 2025 • 01 de julio, 2025

Vernor Lines Sancho, José Roberto Vega-Baudrit, y Armando Rojas

RESUMEN

El edificio de la Fundación Louis Vuitton (LV), diseñado por Frank Gehry y ubicado en el Bois de Boulogne de París, es un ícono de la arquitectura contemporánea que combina arte, ingeniería y sostenibilidad. Este artículo explora el uso innovador de la madera en su construcción, destacando el empleo de madera laminada cruzada (CLT) y madera laminada encolada (Glulam). Se analizan las propiedades estructurales de este tipo de materiales, su contribución a la sostenibilidad y los posibles desafíos técnicos superados durante la construcción. Basado en una revisión de literatura científica y técnica, este trabajo demuestra cómo la madera -en términos generales- puede ser un material viable para proyectos arquitectónicos de alta gama, estableciendo un precedente para futuras construcciones.

Palabras clave: Fundación Louis Vuitton, madera laminada cruzada (CLT), madera laminada encolada (Glulam), arquitectura sostenible, Frank Gehry, ingeniería estructural, construcción innovadora.

ABSTRACT

The Louis Vuitton Foundation building, designed by Frank Gehry and located in Paris' Bois de Boulogne, is an icon of contemporary architecture that combines art, engineering, and sustainability. This article explores the innovative use of timber in its construction, highlighting the use of cross-laminated timber (CLT) and glulam timber (Glulam). The structural properties of these materials, their contribution to sustainability, and the technical challenges overcome during construction are analyzed. Based on a scientific and technical literature review, this work demonstrates how wood can be a viable material for high-end architectural projects, setting a precedent for future construction.

Keywords: Louis Vuitton Foundation, cross-laminated timber (CLT), glulam (Glulam), sustainable architecture, Frank Gehry, structural engineering, innovative construction

Vernor Lines Sancho es una figura destacada en el ámbito de la arquitectura costarricense, reconocido tanto por su obra edificatoria como por su pensamiento crítico y su compromiso con el desarrollo urbano sostenible. También es bien conocida su faceta como artista en el ámbito de la pintura costarricense.

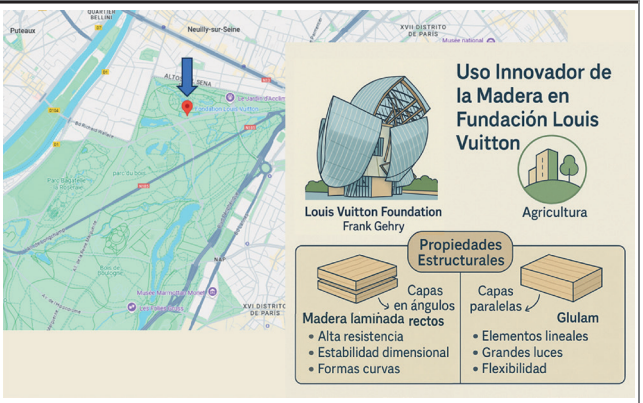
José Vega Baudrit es Director del Laboratorio Nacional de Nanotecnología LANOTEC CENAT (Costa Rica). Es profesor de LEAD University y de la Universidad Nacional, Escuela de Química.

Armando Rojas Esquivel es Coordinador del Observatorio de Diplomacia Científica del CeNAT/CONARE y profesor del curso Economía Política Internacional de la Escuela de Administración Pública de la UCR. Tiene un MBA de la Universidad de Ottawa y es egresado de Economía de la UCR.

INTRODUCCIÓN

La Fundación Louis Vuitton ejemplifica la estrategia de la marca para trascender el comercio minorista de lujo tradicional mediante el compromiso con el arte contemporáneo. Esta fundación en el Bois de Boulogne de París representa un espacio utópico que conecta la marca con el mundo del arte. Refleja una tendencia más amplia entre las marcas de lujo a colaborar con artistas y crear espacios que realcen su valor cultural más allá de los intereses comerciales (Manlow, 2019). En la Figura 1, se observa la ubicación del Edificio de la Fundación Louis Vuitton LV, París, Francia

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL EDIFICIO DE LA FUNDACIÓN LOUIS VUITTON (LV), PARÍS, FRANCIA

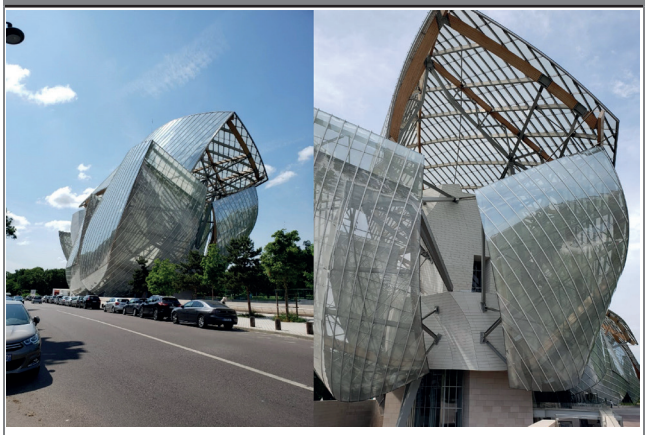


Fuente: Elaboración propia, 2025.

El edificio de la Fundación Louis Vuitton (Figura 2), inaugurado en 2014, es un museo de arte contemporáneo que se erige como un hito arquitectónico en París. Diseñado por Frank Gehry, el edificio se caracteriza por sus formas orgánicas y su estructura compleja, que desafía los límites de la ingeniería y el diseño. Uno de los aspectos más destacados de su construcción es el uso innovador de la madera, específicamente madera laminada cruzada (CLT) y madera laminada encolada (Glulam), materiales que combinan resistencia, flexibilidad y sostenibilidad (Brandner *et al.*, 2016).

Este artículo revisa el papel de la madera en la construcción del edificio, analizando sus propiedades estructurales, su impacto ambiental y los desafíos técnicos asociados. Además, se discuten las implicaciones de este proyecto para futuras construcciones de alta gama.

FIGURA 2. EDIFICIO DE LA FUNDACIÓN LOUIS VUITTON (LV), DISEÑADO POR FRANK GEHRY Y UBICADO EN EL BOIS DE BOULOGNE DE PARÍS, FRANCIA



Fuente: Elaboración propia, 2025.

USO DE LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO

Madera Laminada Cruzada (CLT)

La madera laminada cruzada (CLT) es un material compuesto por capas de madera maciza encoladas en ángulos rectos, lo que le confiere una alta resistencia y estabilidad dimensional (Brandner *et al.*, 2016). En el edificio de la Fundación Louis Vuitton, el CLT se utilizó para crear las formas curvas y los grandes voladizos que definen su diseño. Según Espinoza *et al.* (2016), el CLT es ideal para estructuras complejas debido a su capacidad para ser prefabricado y ensamblado con precisión milimétrica (Figura 3).

FIGURA 3. EMPLEO DEL GLULAM EN LA ESTRUCTURA INTERNA DEL EDIFICIO DE LA FUNDACIÓN LOUIS VUITTON (LV), EN PARÍS, FRANCIA

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Madera Laminada Encolada (Glulam)

El Glulam, por su parte, consiste en capas de madera encoladas en la misma dirección, lo que lo hace ideal para elementos lineales como vigas y columnas (Lehmann, 2012). En el edificio, el Glulam se utilizó para soportar cargas estructurales y crear espacios interiores amplios y libres de obstrucciones. Su flexibilidad permitió a Gehry materializar su visión arquitectónica sin comprometer la integridad estructural.

EMPLEO DE LA MADERA EN CONSTRUCCIÓN

La madera utilizada en la construcción de este edificio en particular fue seleccionada por su alta resistencia y durabilidad. Según Karacabeyli y Lum (2014), el CLT ofrece una relación resistencia-peso superior a la de materiales tradicionales como el acero y el hormigón, lo que lo hace ideal para estructuras complejas. Además, su capacidad para ser prefabricado reduce los tiempos de construcción y minimiza los errores en obra (Sandberg *et al*., 2014).

Un estudio realizado por Frangi *et al*., (2009) demostró que el CLT también tiene un excelente comportamiento frente al fuego, ya que la carbonización superficial protege el núcleo de la madera, manteniendo su resistencia estructural durante un incendio. Esta propiedad fue crucial para cumplir con los estrictos códigos de seguridad franceses.

En términos generales, el uso de madera en la construcción de edificios presenta tanto ventajas como desafíos. El uso de madera es valorado por su sostenibilidad y disponibilidad, pero enfrenta limitaciones debido a su susceptibilidad al fuego y propiedades mecánicas limitadas.

Propiedades de la Madera

La madera es un material de construcción sostenible y versátil, ampliamente utilizado en la construcción de edificios debido a sus propiedades estructurales, térmicas, acústicas y ambientales. Su uso en la construcción está impulsado por la necesidad de materiales sostenibles que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la eficiencia energética de los edificios. En la tabla 1, se muestran algunas comparaciones en el uso de maderas y concreto como material de construcción de edificios.

- **Propiedades Mecánicas y Resistencia al Fuego:** La madera tiene una alta relación resistencia-peso, lo que la hace adecuada para aplicaciones estructurales como vigas y marcos. Esta característica permite la construcción de estructuras ligeras pero fuertes, lo que es beneficioso en áreas sísmicas (Asdrubali *et al*., 2017; Arriaga *et al*., 2023; Teaching Aids, 2021). La madera de abeto muestra una buena resistencia a la flexión y compresión, aunque estas propiedades pueden variar según la orientación de las fibras y el tratamiento aplicado (Fajdiga *et al*., 2019; Rosner *et al*., 2007). El abeto tratado con resinas como la boric-fenol-formaldehído muestra mejoras significativas en sus propiedades mecánicas y resistencia al fuego, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones estructurales (Kong *et al*., 2017). La ortotropía de la madera, que se refiere a sus propiedades direccionales, es una característica clave que influye en su comportamiento estructural. Factores como la duración de la carga, el contenido de humedad y la temperatura afectan sus propiedades mecánicas (Arriaga *et al*., 2023; Raposo *et al*., 2017).
- **Densificación y Mineralización:** La mineralización con fosfato de calcio y la densificación del abeto mejoran su resistencia al fuego y sus propiedades mecánicas, aumentando la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad en un 203% y 220%, respectivamente (Yang *et al*., 2024).
- **Propiedades térmicas y acústicas:** La madera es un excelente aislante térmico debido a su baja conductividad térmica, lo que contribuye a la eficiencia energética de los edificios. Esto es especialmente relevante en la construcción de edificios de bajo consumo energético o pasivos (Asdrubali *et al*., 2017; Švajlenka & Kozlovská, 2019). Por otro lado, los elementos de madera pueden minimizar la transmisión de sonido, mejorando el confort acústico en los edificios (Asdrubali *et al*., 2017; Teaching Aids, 2021).

  La madera y los materiales basados en madera tienen la capacidad de absorber el sonido, lo que es crucial para reducir la reverberación en espacios cerrados. Los coeficientes de absorción de sonido varían según el tipo de madera y su tratamiento. Por ejemplo, los tableros de partículas

TABLA 1. COMPARATIVA EN EL USO DE MADERA Y CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO

Criterio	Madera	Concreto	Cita
Reducción de Emisiones de CO_2	Reduce entre 30 y 130 kg C por m^2 de área de piso; construcción híbrida reduce emisiones hasta en un 65%	Emite más CO_2 en su producción y construcción	Gustavsson *et al.*, 2006 Zhang *et al.*, 2023
Almacenamiento de Carbono	Almacena carbono durante su vida útil, contribuyendo a la mitigación del cambio climático	No almacena carbono	Zhang *et al.*, 2023 Talvitie *et al.*, 2022
Huella de Carbono	Menor huella de carbono a lo largo de su ciclo de vida	Mayor huella de carbono en su ciclo de vida	Nässén *et al.*, 2012 Talvitie *et al.*, 2022
Reducción de Peso y Carga	Estructuras más ligeras reducen la carga base	Estructuras más pesadas con mayor carga base	Zhang *et al.*, 2023
Eficiencia Energética	Requiere menos energía para mantener el clima interior	Mayor consumo energético para regulación térmica	Fischer *et al.*, 2023
Rapidez de Construcción	Construcción más rápida, reduciendo tiempos	Construcción más lenta	Konovalov, 2022
Costos de Construcción	En algunos contextos, como en Finlandia, puede ser más económica que el concreto	Generalmente más costoso, especialmente con protecciones contra incendios y climáticas	Laitinen *et al.*, 2024

Fuente: Elaboración propia, 2025.

y los tableros de fibras de densidad media muestran diferentes niveles de absorción dependiendo de la frecuencia del sonido (Culik *et al.*, 2020; Smardzewski *et al.*, 2015).

El coeficiente de absorción de sonido es un indicador clave de la capacidad de un material para absorber sonido. Materiales como el tablero de cemento (CTD) han mostrado altos niveles de absorción, especialmente en frecuencias específicas, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde se requiere reducción de ruido (Culik *et al.*, 2020).

Procesos como el lavado con mezclas de etanol-acetona pueden mejorar significativamente las propiedades acústicas de la madera, aumentando la eficiencia de conversión acústica y la amortiguación de vibraciones. Estos tratamientos afectan positivamente la densidad y el módulo de elasticidad de la madera (Daeepour *et al.*, 2023).

La modificación térmica de la madera puede alterar sus propiedades acústicas, como el coeficiente de absorción y la velocidad de propagación del sonido. La madera de pino, por ejemplo, muestra un aumento en el coeficiente de absorción en ciertas frecuencias tras la modificación térmica (Mania *et al.*, 2023).

Aplicaciones Culturales y Ecológicas

- **Construcción Tradicional:** En las aldeas Dong de China, el abeto se utiliza tradicionalmente en la construcción de casas de madera, aunque su alta inflamabilidad es un riesgo (Wu y Liu, 2024).
- **Impacto Económico:** En regiones como Oregón, el uso de madera de abeto en construcciones de gran altura ha demostrado generar impactos económicos positivos, superando a las construcciones tradicionales de concreto (Scouse *et al.*, 2020).

Influencia de Factores Ambientales y Estructurales

- **Edad y Estructura del Bosque:** La estructura del bosque y la edad del árbol influyen en las propiedades mecánicas. Los bosques con estructuras regulares, ya sea post-incendio o post-tala, tienden a tener una mayor rigidez en comparación con los bosques de crecimiento antiguo (Cardona *et al.*, 2024).
- **Densidad de la Madera:** Aunque la densidad no siempre refleja completamente las propiedades mecánicas, es un indicador importante de la calidad técnica del tejido de la madera (Jelonek *et al.*, 2024).

Tratamientos y Modificaciones

- **Tratamientos Hidrotérmicos**: El tratamiento hidrotérmico al vacío del abeto mejora sus propiedades físicas, como la eficiencia de exclusión de humedad y la eficiencia anti-hinchazón, lo que puede ser útil para controlar la calidad

del material (Hsieh *et al.*, 2022). El módulo de elasticidad en flexión y compresión es un indicador clave de la rigidez de la madera de abeto. Este puede disminuir con el tratamiento térmico, especialmente a temperaturas más altas (Hasanagic *et al.*, 2023).

- **Modificación Química:** La modificación química, como la metacrilación y la polimerización in situ, puede aumentar significativamente la rigidez y el módulo de cizallamiento de la madera, aunque puede disminuir la rigidez específica debido al aumento de densidad (Olaniran *et al.*, 2019; Mendez *et al.*, 2019). La modificación de la madera de abeto con compuestos como el poliéster insaturado biobasado puede mejorar su rendimiento integral, ofreciendo un método verde y de bajo costo para mejorar su uso en construcciones sostenibles (Xiu *et al.*, 2024).

  Otro ejemplo es el uso del adhesivo de ácido cítrico-glucosa (CAG) de base biológica, producido por la reacción de esterificación de la glucosa y el ácido cítrico, muestra el potencial de sustituir a los adhesivos industriales de resina de urea-formaldehído existentes con una excelente fuerza de unión y resistencia al agua (Li *et al.*, 2022).

SOSTENIBILIDAD E IMPACTO AMBIENTAL

A pesar de sus ventajas, la madera enfrenta desafíos como la resistencia al fuego y la durabilidad. Se están desarrollando laminados de madera con propiedades mejoradas de resistencia al fuego y aislamiento térmico para abordar estos problemas (Chen *et al.*, 2020). La investigación continua en productos de madera ingenierizados y tecnologías de fijación está ampliando las aplicaciones de la madera en estructuras de gran envergadura y edificios de varios pisos (Fink, 2019). En el caso del uso de la madera en la construcción del edificio de la Fundación Louis Vuitton no solo responde a criterios estéticos y estructurales, sino también a consideraciones de sostenibilidad. Según Nakano, Karube y Hattori (2020), la madera es un recurso renovable que, cuando se gestiona de manera responsable, tiene un impacto ambiental significativamente menor que otros materiales de construcción. Además, la madera actúa como un sumidero de carbono, lo que reduce la huella de carbono del edificio.

El proyecto también incorporó prácticas de construcción sostenible, como la prefabricación de componentes de madera, que minimizó los residuos generados en obra (Ramage *et al.*, 2017). Estas prácticas alinean el edificio con los principios de la arquitectura sostenible y lo convierten en un referente para futuros proyectos.

DESAFÍOS TÉCNICOS Y SOLUCIONES INNOVADORAS

La construcción del edificio presentó numerosos desafíos técnicos, particularmente en lo que respecta al uso de la madera en una estructura de tal complejidad. Uno de los mayores desafíos fue garantizar la estabilidad estructural de los grandes voladizos y las formas curvas. Para superar este desafío, se desarrollaron técnicas avanzadas de modelado y fabricación digital, que permitieron la creación de componentes de madera con una precisión milimétrica (Martínez *et al.*, 2017).

Además, el equipo de ingenieros trabajó en estrecha colaboración con Gehry para integrar los sistemas estructurales y mecánicos sin comprometer el diseño arquitectónico. Este enfoque interdisciplinario fue clave para el éxito del proyecto (De Araujo *et al.*, 2023).

EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DE MADERA VS. CONCRETO EN CONSTRUCCIÓN

La evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) es una herramienta clave para medir el impacto ambiental de los materiales de construcción desde su producción hasta su desecho. En el contexto de la construcción, la madera y el concreto son dos materiales ampliamente utilizados, cada uno con sus propias ventajas y desventajas ambientales.

Impacto Ambiental Comparativo

La madera, en general, presenta menores impactos ambientales en comparación con el concreto. Estudios han demostrado que las construcciones de madera requieren menos energía en su fabricación, ensamblaje y operación en comparación con las de concreto y acero (Glover *et al.*, 2002; Minunno *et al.*, 2021). Además, las estructuras de madera tienden a tener un menor potencial de calentamiento global y toxicidad humana (Soust-Verdaguer *et al.*, 2020; Liang *et al.*, 2020).

Las construcciones híbridas que combinan madera y concreto pueden ofrecer un uso más racional de la madera, resultando en una menor huella de carbono en comparación con las estructuras de concreto puras (Rinne *et al.*, 2022). Sin embargo, el impacto ambiental puede variar dependiendo de la fase del ciclo de vida evaluada (Rinne *et al.*, 2022).

Desempeño en Diferentes Categorías de Impacto

Las estructuras de madera suelen tener un menor impacto en el potencial de calentamiento global y en el uso de energía no renovable en comparación con las de concreto (Mitterpach *et al.*, 2022; Liang *et al.*, 2020). Sin embargo, en algunas categorías como el potencial de eutrofización, la madera puede tener un impacto mayor (Soust-Verdaguer *et al.*, 2020).

La madera, al ser un material renovable, puede contribuir a la reducción de emisiones de carbono, especialmente cuando se utiliza en grandes cantidades como en construcciones de madera masiva (Hemmati *et al.*, 2023). Sin embargo, el transporte y la instalación de estos materiales también generan emisiones que deben ser consideradas (Hemmati *et al.*, 2023).

Desafíos y Direcciones Futuras

Es crucial considerar todas las fases del ciclo de vida de los materiales para obtener una evaluación precisa de su impacto ambiental. Diferentes enfoques en el modelado del ciclo de vida pueden llevar a conclusiones opuestas, lo que subraya la importancia de una evaluación integrada que incluya aspectos estructurales, ambientales y económicos (Marinković *et al.*, 2021).

La reducción del uso de materiales como el yeso y la proximidad de la producción de madera masiva al sitio de construcción pueden disminuir aún más la huella ambiental de las construcciones de madera (Liang *et al.*, 2020).

Implicaciones para Futuros Proyectos

El éxito del uso de la madera en la construcción del edificio de la Fundación Louis Vuitton tiene implicaciones significativas para futuros proyectos de arquitectura de alta gama. Según Brown *et al.* (2021), este proyecto demuestra que la madera puede ser un material viable para la construcción de estructuras complejas y de gran escala, siempre que se utilicen técnicas avanzadas de diseño y fabricación.

Además, el edificio establece un nuevo estándar para la sostenibilidad en la arquitectura de alta gama, demostrando que es posible combinar innovación, estética y responsabilidad ambiental (Green *y* Karsh, 2012).

CONCLUSIONES

El edificio de la Fundación Louis Vuitton es un ejemplo emblemático de cómo los materiales tradicionales pueden ser reinventados para cumplir con las exigencias de la arquitectura contemporánea. El uso innovador de la madera, específicamente la madera laminada cruzada (CLT) y la madera laminada encolada (Glulam), en este proyecto no solo ha demostrado su viabilidad como material de construcción para estructuras complejas, sino que también ha establecido un nuevo estándar para la sostenibilidad en la arquitectura de alta gama.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arriaga, F., Wang, X., Íñiguez-González, G., Llana, D., Esteban, M., y Niemz, P. (2023). Mechanical Properties of Wood: A Review. *Forests*. https://doi.org/10.3390/f14061202

Asdrubali, F., Ferracuti, B., Lombardi, L., Guattari, C., Evangelisti, L., y Grazieschi, G. (2017). A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications. *Building and Environment*, 114, 307-332. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.12.033

Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., y Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): Overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 331-351. https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5

Cardona, L., Couillard, P., y Achim, A. (2024). Lower wood stiffness in old-growth than in post-cut and post-fire stands indicates forest structure is a key driver of wood properties in black spruce. *Canadian Journal of Forest Research*. https://doi.org/10.1139/cjfr-2023-0199

Chen, G., Chen, C., Pei, Y., He, S., Liu, Y., Jiang, B., Jiao, M., Gan, W., Liu, D., Yang, B., y Hu, L. (2020). A strong, flame-retardant, and thermally insulating wood laminate. *Chemical Engineering Journal*, 383, 123109. https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123109

Culik, M., Danihelová, A., Ondrejka, V., y Alac, P. (2020). Sound absorption on board construction materials used in wood buildings. *Akustika*. https://doi.org/10.36336/akustika20203751

Daeepour, Z., Lashgari, A., Roohnia, M., Jahan-Latibari, A., y Safdari, V. (2023). Pine wood extraction by fermentation to improve its acoustical efficiency. *BioResources*. https://doi.org/10.15376/biores.18.4.8062-8075

De Araujo, V., Aguiar, F., Jardim, P., Mascarenhas, F., Marini, L., Aquino, V., Santos, H., Panzera, T., Lahr, F., y Christoforo, A. (2023). Is Cross-Laminated Timber (CLT) a Wood Panel, a Building, or a Construction System? A Systematic Review on Its Functions, Characteristics, Performances, and Applications. Forests, 14(2), 264. https://doi.org/10.3390/f14020264

Espinoza, O., Rodriguez-Trujillo, V., y Buehlmann, U. (2016). Cross-laminated timber: Status and research needs in Europe. *BioResources*, 11(1), 281-295. https://doi.org/10.15376/biores.11.1.281-295

Fajdiga, G., Rajh, D., Nečemer, B., Glodež, S., y Šraml, M. (2019). Experimental and Numerical Determination of the Mechanical Properties of Spruce Wood. *Forests*. https://doi.org/10.3390/f10121140

Fink, G. (2019). Editorial. *Wood Material Science & Engineering*, 14, 253-253. https://doi.org/10.1080/17480272.2019.1653366

Fischer, H., Aichholzer, M., y Korjenic, A. (2023). Ecological Potential of Building Components in Multi-Storey Residential Construction: A Comparative Case Study between an Existing Concrete and a Timber Building in Austria. *Sustainability*, *15*(8), 6349. https://doi.org/10.3390/su15086349

Frangi, A., Fontana, M., Hugi, E., y Jübstl, R. (2009). Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire. *Fire Safety Journal*, 44(8), 1078-1087. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.07.007

Glover, J., White, D., y Langrish, T. (2002). Wood versus Concrete and Steel in House Construction: A Life Cycle Assessment. Journal of Forestry. https://doi.org/10.1093/JOF/100.8.34

Green, M. C., y Karsh, J. E. (2012). The case for tall wood buildings. *WoodWorks*. https://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-Tall-Wood.pdf

Gustavsson, L., Pingoud, K., y Sathre, R. (2006). Carbon Dioxide Balance of Wood Substitution: Comparing Concrete- and Wood-Framed Buildings. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11, 667-691. https://doi.org/10.1007/S11027-006-7207-1

Hasanagic, R., Fathi, L., Sefidruh, M., Bahmani, M., y Humar, M. (2023). Mechanical Performance of Heat-Treated Norway Spruce (Picea abies) Wood. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry • Wood Industry • Agricultural Food Engineering*. https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.2.7

Hemmati, M., Messadi, T., y Gu, H. (2023). Life Cycle Assessment of the Construction Process in a Mass Timber Structure. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su16010262

Hsieh, M., Hung, K., Xu, J., Chang, W., y Wu, J. (2022). Characterization and Prediction of Physical Properties of Luanta Fir Wood with Vacuum Hydrothermal Treatment. Polymers, 14. https://doi.org/10.3390/polym14204374

Jelonek, T., Klimek, K., Naskrent, B., Tomczak, A., Grzywiński, W., Kopaczyk, J., Szwed, T., Grabowski, D., y Szaban, J. (2024). How the Spruce Ageing Process Affects Wood. *Forests*. https://doi.org/10.3390/f15101737

Karacabeyli, E., y Lum, C. (2014). Technical guide for the design and construction of tall wood buildings in Canada. *FPInnovations*.

Kong, Y., Chen, Z., Lu, W., Liu, W., Mengyu, L., Yaling, S., Lijuan, T., y Wan, L. (2017). Evaluating the mechanical and fire-resistance properties of modified fast-growing Chinese fir timber with boric-phenol-formaldehyde resin. Construction and Building Materials, 154, 956-962. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.08.035

Konovalov, M. (2022). The use of wooden structures as an alternative replacement for reinforced concrete structures in a multi-storey building. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov*. https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-6-17-24

Laitinen, M., Ilgın, H., Karjalainen, M., y Saari, A. (2024). Low-Carbon Emissions and Cost of Frame Structures for Wooden and Concrete Apartment Buildings: Case Study from Finland. Buildings. https://doi.org/10.3390/buildings14051194

Lehmann, S. (2012). Sustainable Construction for Urban Infill Development Using Engineered Massive Wood Panel Systems. *Sustainability*, *4*(10), 2707-2742. https://doi.org/10.3390/su4102707

Li, C., Lei, H., Wu, Z., Xi, X., Du, G., y Pizzi, A. (2022). Fully Biobased Adhesive from Glucose and Citric Acid for Plywood with High Performance. *ACS applied materials & interfaces*. https://doi.org/10.1021/acsami.2c02859.

Liang, S., Gu, H., Bergman, R., y Kelley, S. (2020). Comparative life-cycle assessment of a mass timber building and concrete alternative. Wood and Fiber Science, 52, 217-229. https://doi.org/10.22382/wfs-2020-019

Mania, P., Flach, A., y Pilarska, M. (2023). Sound Wave Absorption Coefficient and Sound Velocity in Thermally Modified Wood. *Applied Sciences*. https://doi.org/10.3390/app13148136

Manlow, V. (2019). The Fondation Louis Vuitton: A utopian space apart from the world of luxury retail. *Journal of Design, Business & Society*. https://doi.org/10.1386/dbs.5.2.149_1.

Marinković, S., Carević, V., y Dragaš, J. (2021). The role of service life in Life Cycle Assessment of concrete structures. Journal of Cleaner Production, 290, 125610. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125610

Mendez, D., Olaniran, S., Rüggeberg, M., Burgert, I., Herrmann, H., y Wittel, F. (2019). Mechanical behavior of chemically modified Norway spruce: a generic hierarchical model for wood modifications. *Wood Science and Technology*, 53, 447-467. https://doi.org/10.1007/s00226-019-01082-3

Minunno, R., O'Grady, T., Morrison, G., y Gruner, R. (2021). Investigating the embodied energy and carbon of buildings: A systematic literature review and meta-analysis of life cycle assessments. Renewable and Sustainable Energy Reviews. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2021.110935

Mitterpach, J., Fojtík, R., Machovčáková, E., y Kubíncová, L. (2022). Life Cycle Assessment of a Road Transverse Prestressed Wooden–Concrete Bridge. Forests. https://doi.org/10.3390/f14010016

Nakano, K., Karube, M., y Hattori, N. (2020). Environmental Impacts of Building Construction Using Cross-laminated Timber Panel Construction Method: A Case of the Research Building in Kyushu, Japan. *Sustainability*, *12*(6), 2220. https://doi.org/10.3390/su12062220

Nässén, J., Hedenus, F., Karlsson, S., y Holmberg, J. (2012). Concrete vs. wood in buildings – An energy system approach. Building and Environment, 51, 361-369. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2011.11.011

Olaniran, S., Michen, B., Mendez, D., Wittel, F., Bachtiar, E., Burgert, I., y Rüggeberg, M. (2019). Mechanical behaviour of chemically modified Norway spruce (Picea abies L. Karst.): Experimental mechanical studies on spruce wood after methacrylation and in situ polymerization of styrene. *Wood Science and Technology*, 53, 425-445. https://doi.org/10.1007/s00226-019-01080-5

Ramage, M. H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., … y Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333-359. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107

Raposo, P., Correia, J., Sousa, D., Salavessa, M., Reis, C., Oliveira, C., y Jesus, A. (2017). Mechanical Properties of Wood Construction Materials from a Building from the 19th Century. *Procedia structural integrity*, 5, 1097-1101. https://doi.org/10.1016/J.PROSTR.2017.07.087

Rinne, R., Ilgın, H., y Karjalainen, M. (2022). Comparative Study on Life-Cycle Assessment and Carbon Footprint of Hybrid, Concrete and Timber Apartment Buildings in Finland. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19. https://doi.org/10.3390/ijerph19020774

Rosner, S., Klein, A., Müller, U., y Karlsson, B. (2007). Hydraulic and mechanical properties of young Norway spruce clones related to growth and wood structure. *Tree physiology*, 27 8, 1165-78. https://doi.org/10.1093/TREEPHYS/27.8.1165

Sandberg, D., Haller, P., y Navi, P. (2014). Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science & Engineering*, 9(1), 64-88. https://doi.org/10.1080/17480272.2012.751935

Scouse, A., Kelley, S., Liang, S., y Bergman, R. (2020). Regional and net economic impacts of high-rise mass timber construction in Oregon. Sustainable Cities and Society, 61, 102154. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102154

Smardzewski, J., Kamisiński, T., Dziurka, D., Mirski, R., Majewski, A., Flach, A., y Pilch, A. (2015). Sound absorption of wood-based materials. *Holzforschung*, 69, 431-439. https://doi.org/10.1515/hf-2014-0114

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., y Moya, L. (2020). Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage. Journal of Cleaner Production, 277, 121958. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121958

Švajlenka, J., y Kozlovská, M. (2019). Effect of accumulation elements on the energy consumption of wood constructions. *Energy and Buildings*. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2019.06.006

Talvitie, I., Amiri, A., y Junnila, S. (2022). Climate benefits of wooden construction in urban context. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1101. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/2/022048

Teaching Aids, (2021). Sustainable Public Buildings Designed and Constructed in Wood. https://doi.org/10.7250/9789934225758

Wu, W., y Liu, X. (2024). Wood Construction Practices of the Dong Ethnic Group (Guangxi Province, China). Prostor. https://doi.org/10.31522/p.32.1(67).5

Xu, T., Ju, X., Tang, H., y Xiang, W. (2024). Research on Enhancing the Comprehensive Performance of Fir Wood through Chemical Modification with a Biobased Unsaturated Polyester. *ACS Omega*, 9, 28816-28826. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c02820

Yang, J., Zhang, S., Qian, Y., Chen, H., Peng, Y., y Yu, Y. (2024). Investigation into the Performance Enhancement of Calcium Phosphate Mineralization-Compacted Chinese Fir. Forests. https://doi.org/10.3390/f15030452

Zhang, X., Huang, W., Khajehpour, M., Asgari, M., y Tannert, T. (2023). Seismic Performance and LCA Comparison between Concrete and Timber–Concrete Hybrid Buildings. Buildings. https://doi.org/10.3390/buildings13071714