


Manual práctico para el uso de paneles de madera contra laminada (CLT) en la economía circular de la construcción venezolana

Practical manual for the use of cross-laminated timber (CLT) panels in the circular economy of Venezuelan construction


Robmary B. Coronado-Durán

Universidad Rafael Urdaneta, Decanato de Postgrado e Investigación, Programa de Especialización en Construcción de Obras Civiles, Mención Edificaciones. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0009-2954-7898> | Correo electrónico: Robmarycoronado06@gmail.com

Mario V. Herrera-Boscán

Universidad Rafael Urdaneta, Decanato de Postgrado e Investigación, Programa de Especialización en Construcción de Obras Civiles, Mención Edificaciones. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-9725-5973> | Correo electrónico: mherrerab.2020@gmail.com

Recibido: 10-10-2025 Admitido: 25-10-2025 Aprobado: 17-11-2025

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20208482>

Resumen

La investigación evaluó los paneles de madera contra laminados (CLT) como una opción sostenible para la construcción en Venezuela, analizando su impacto ambiental y conexión con la economía circular. Se destacaron sus propiedades estructurales, reciclaje y reutilización, en comparación con materiales como el hormigón y el acero. El CLT mostró una huella de carbono menor, reduciendo el impacto ambiental en la construcción. Sin embargo, enfrenta barreras como la falta de regulaciones, desconocimiento del material y limitaciones económicas. El estudio propuso estrategias para superar estos desafíos, como normativas, incentivos financieros, capacitación y proyectos piloto. Basándose en experiencias internacionales, se concluyó que el CLT puede impulsar la construcción sostenible en Venezuela, fortaleciendo la economía circular a través del reciclaje y reutilización, mejorando la eficiencia energética y reduciendo desperdicios. Su adopción requiere un enfoque colaborativo entre los sectores público y privado para transitar hacia un modelo más ecológico.

Palabras clave: Madera contralaminada (CLT), construcción de madera, análisis de ciclo de vida (ACV), gestión de residuos de construcción, economía circular.

Abstract

The research evaluated cross-laminated timber (CLT) panels as a sustainable option for construction in Venezuela, analyzing their environmental impact and connection to the circular economy. Their structural properties, recycling, and reuse were highlighted in comparison with materials such as concrete and steel. CLT demonstrated a significantly lower carbon footprint, reducing the environmental impact of construction. However, it faces barriers such as the lack of regulations, material unawareness, and economic limitations. The study proposed strategies to overcome these challenges, including regulations, financial incentives, professional training, and pilot projects. Drawing on international experiences, it was concluded that CLT can promote sustainable construction in Venezuela, strengthening the circular economy through recycling and reuse, improving energy efficiency, and reducing waste. Its adoption requires a collaborative approach between public and private sectors to transition to a more ecological model.

Keywords: Cross-Laminated Timber (CLT), Mass Timber Construction, Life Cycle Assessment (LCA), Construction Waste Management, Circular Economy.

Introducción

En el ámbito de la construcción, tradicionalmente se han utilizado materiales como el hormigón y el acero, no obstante, su impacto ambiental es significativo, representando entre el 7% y el 9% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero [1]. Este alto nivel de emisiones, junto con su elevado consumo energético durante la producción, ha puesto de manifiesto la urgencia de buscar alternativas más sostenibles. Por lo tanto, los paneles de madera contra laminados (CLT, siglas en inglés) han demostrado ser una alternativa viable con múltiples usos, destacando por su resistencia y eficiencia.

Estos paneles están formados por capas de madera dispuestas de manera perpendicular y unidas mediante adhesivos estructurales, lo que les confiere una alta estabilidad dimensional y resistencia mecánica, dado que los paneles CLT pueden soportar cargas de hasta 610 kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) en dirección longitudinal y 760 kg/cm² en dirección transversal, dependiendo de la configuración de las capas y el tipo de madera utilizada. Además, su diseño estructural permite una distribución uniforme de las cargas, haciéndolos ideales para aplicaciones internas en muros, techos y entrepisos. En términos de rendimiento, un muro de CLT de 100 mm de espesor puede ofrecer un nivel de aislamiento térmico equivalente al de un muro de hormigón de aproximadamente 1,80 m de espesor, esto lo convierte en una opción viable y sostenible para proyectos en una amplia variedad de condiciones climáticas, lo que ha aumentado su popularidad en todo el mundo, especialmente en Europa, América del Norte y Asia [2].

Este diseño proporciona una alta estabilidad dimensional y resistencia mecánica, estimando así que la producción global de paneles CLT supera los 2 millones de metros cúbicos anuales. Considerando que, a nivel global, la industria de la construcción representa el 40% del consumo de energía primaria, el 33% de las emisiones de CO₂ y el 60% de la materia prima extraída de la litósfera [3], es evidente que esta actividad genera el mayor consumo de recursos naturales. Ahora bien, la madera utilizada en los paneles CLT proviene de bosques gestionados de manera sostenible, lo que contribuye a la reducción de la huella de carbono.

Además, los paneles CLT pueden ser reciclados para fabricar nuevos productos de madera, como tableros aglomerados o fibras para aislamiento térmico y acústico. Incluso, los residuos generados durante su fabricación o desmontaje pueden ser aprovechados como biomasa para la generación de energía renovable, contribuyendo a la reducción de desperdicios. Estas características no solo prolongan la vida útil del material, sino que también disminuyen la necesidad de extraer nuevos recursos naturales, su fabricación requiere menos energía que otros materiales de construcción convencionales y en cuanto a durabilidad, ligereza, excelente aislamiento térmico y acústico, y su capacidad para soportar cargas elevadas, este panorama muestra el gran potencial del sector para buscar soluciones que minimicen los impactos generados por su actividad [4].

Experiencias previas en países como Argentina, Chile y Brasil, han demostrado la versatilidad y el bajo impacto ambiental de los paneles CLT. Aunque la reutilización específica de estos paneles en América Latina aún está en desarrollo, su uso sostenible y su potencial para la economía circular los convierten en una opción prometedora teniendo en consideración que, al finalizar la vida útil de la construcción, estos paneles son 100% renovables y no introducen componentes tóxicos, favoreciendo ambientes más sanos y habitables [4].

En los mencionados países, se ha seguido un proceso de diseño integrado a través de todas las etapas del proyecto arquitectónico, lo que ha permitido una adopción más rápida y eficiente de esta tecnología. En Venezuela, donde el uso de hormigón y acero prevalece, el CLT podría constituirse como una solución accesible y eficaz, especialmente considerando los recursos forestales disponibles en el país, ya que, este cuenta con una riqueza forestal significativa, abalada por el Sistema Nacional Integrado de Información Forestal (SINIIF) con aproximadamente 50 millones de hectáreas de bosques, lo que representa casi el 50% de su territorio. Estos recursos están concentrados principalmente en los estados de Bolívar, Amazonas y Delta Amacuro, que albergan la mayor parte de los bosques tropicales del país [4].

Dentro de esas áreas de bosques, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que 29 millones de hectáreas tienen potencial productivo, con un volumen de madera calculado en 6.700 millones de metros cúbicos, de los cuales 3.500 millones corresponden a especies aptas

para el mercado. Sin embargo, se ha explorado el diseño estructural y la evaluación económica de un sistema constructivo en madera [5].

Es crucial analizar cómo se integrarían los paneles CLT en un enfoque circular en el ámbito de la construcción en Venezuela, considerando aspectos como la reutilización en otras áreas de la misma edificación o en otras estructuras, la metodología de reciclaje, la eficiencia energética y la huella ambiental, así como su impacto social, económico y regulatorio en el país, por lo que este artículo tiene como finalidad proponer un manual para el uso de paneles de madera contra laminada (CLT) en la economía circular en el sector construcción venezolano.

Materiales y Métodos

Ante todo, es importante destacar que esta investigación se lleva a cabo en el contexto de la construcción venezolana, específicamente en el uso de paneles de madera contra laminada (CLT) dentro de la economía circular. El estudio se enfoca en el estado de Zulia, durante el período comprendido entre mayo de 2024 y junio de 2025, en donde se analizaron las prácticas actuales y potenciales para la implementación de CLT en la construcción, observando su impacto en la sostenibilidad y eficiencia de los recursos. La población de estudio incluyó profesionales del sector de la construcción, tales como ingenieros civiles, arquitectos y constructores, que participaron en proyectos donde se emplearon o se podrían emplear paneles de CLT.

Además, se revisaron estudios de caso, artículos y experiencias previas, tanto a nivel nacional como internacional, con el fin de proporcionar un marco de referencia comparativo. La investigación excluye otros tipos de materiales de construcción no relacionados con CLT, así como proyectos de construcción fuera del estado de Zulia o fuera del período especificado. El enfoque principal es la recopilación de datos teóricos y empíricos, con énfasis en la observación y análisis de prácticas actuales en el campo.

La investigación realizada correspondió al enfoque de tipo proyectivo, ya que se concentró en la elaboración de un manual para el uso de paneles de madera contra laminada (CLT) en la economía circular de la construcción venezolana. El diseño fue de nivel descriptivo, que, según Hurtado [6] tiene como objetivo la descripción precisa del evento de estudio, asociándose con el diagnóstico, pues busca detallar y analizar las características, ventajas y aplicaciones de los paneles CLT en el contexto constructivo venezolano. En este tipo de investigación se buscó exponer el evento estudiado haciendo una enumeración detallada de sus características.

Seguidamente, se empleó un diseño de investigación de campo, univariable y transeccional contemporáneo. Hurtado [6] define el diseño de campo como un proceso que se realiza en un entorno natural o social donde se encuentra el objeto de estudio, permitiendo al investigador recopilar datos directamente de la realidad, sin manipulación o control de las variables. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia en un momento dado. Este enfoque no experimental implica que no se manipulan las variables independientes, sino que se observan, recopilan datos en su contexto real y describen los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, lo que permite una comprensión más profunda del problema.

Dentro de este marco, el mismo autor [6] explica que la investigación no experimental se caracteriza por la observación y análisis de fenómenos en su contexto natural sin interferir en su desarrollo. De esta forma, se satisface la necesidad de promover prácticas de construcción más sostenibles y eficientes en el contexto venezolano. En este sentido, el uso de paneles de madera contra laminada (CLT) ofrece una alternativa ecológica y renovable frente a los materiales de construcción tradicionales, como el concreto y el acero, que tienen un mayor impacto ambiental.

El sector de la construcción en Venezuela enfrenta desafíos significativos en términos de sostenibilidad y economía circular, por lo cual, la implementación de paneles CLT puede contribuir a la reducción de residuos y al aprovechamiento de recursos locales, promoviendo así una economía circular en el ámbito de la construcción. Por lo que, esta investigación es relevante porque proporciona un manual práctico para la adopción de paneles CLT en la construcción venezolana, basándose en experiencias y estudios de caso tanto nacionales como internacionales, cuyos resultados sirven como una guía para profesionales de la construcción,

ingenieros y arquitectos, promoviendo la difusión de técnicas sostenibles y eficientes que beneficien tanto al medio ambiente como a la economía local.

De esta manera, se busca ofrecer una contribución significativa al desarrollo de la construcción sostenible en Venezuela, ya que se siguen criterios de normas y referencias de diversos aportes de autores para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos, los cuales se plasman en el manual propuesto.

Análisis de resultados

Durante la investigación, se llevó a cabo un análisis detallado sobre el reciclaje y reutilización de paneles de madera contra laminados. Se comenzó con la recopilación de información relevante, abarcando estudios previos y casos de éxito en diversas regiones de diferentes países latinoamericanos incluyendo España [7] y Chile [8]. Posteriormente, se evaluaron las propiedades y características de los paneles de madera contra laminados, lo que permitió determinar su viabilidad para procesos de reciclaje y reutilización.

Estos datos no solo sirvieron para validar la pertinencia del material dentro de un enfoque sostenible, sino que también evidencian su potencial para transformar el sector constructivo en países como Venezuela, específicamente en el estado Zulia, ya que contamos con recursos forestales en los bosques secos de la cuenca del Lago de Maracaibo, que a pesar de no ser tan extensos como en otras regiones del país, como Bolívar o Amazonas, su manejo sostenible podría contribuir al desarrollo de iniciativas locales, lo que reduciría costos de transporte y fomentaría la economía local. Para complementar estos hallazgos, se presenta la primera tabla, la cual recoge datos relevantes sobre el mercado global de la madera laminada y reciclada, su crecimiento proyectado y su uso en la construcción sostenible.

Tabla 1. Datos del mercado de paneles de madera laminada y reciclada [9]

Mercado	Dato
Tamaño del mercado 2024	USD 217.900 millones
Crecimiento esperado (2034)	USD 349 mil millones
CAGR global	4,8%
Producción esperada (2029)	474,27 millones m ³
Uso en construcción sostenible	30% con madera reciclada

A medida que avanzó el estudio, se identificaron diversas técnicas y métodos aplicables, los cuales fueron analizados en profundidad para definir su potencial en el contexto de la construcción venezolana. También se examinaron casos de estudio en Venezuela y otros países, lo que proporcionó una perspectiva comparativa y permitió extraer aprendizajes clave, con base en los hallazgos obtenidos, se desarrollaron propuestas específicas orientadas a optimizar el uso de estos materiales dentro del sector de la construcción.

Además, se contó con acceso a bases de datos académicas y técnicas, apoyo de universidades y centros de investigación, y el uso de herramientas avanzadas de análisis y diseño NIUFORM [10]. Estos recursos resultaron fundamentales para la formulación de soluciones eficaces y adaptadas a la realidad del país.

Mediante el desarrollo de la investigación, se recopiló información detallada sobre la producción y el uso de paneles contra laminados, con el propósito de evaluar su impacto ambiental. Entre los análisis realizados, se consideró la comparación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por estos paneles y otros materiales de construcción tradicionales. Este enfoque permitió establecer una perspectiva más clara sobre la contribución de cada material a la huella de carbono en el sector de la construcción.

La segunda tabla, resume los datos más relevantes obtenidos, destacando el desempeño de los paneles contra laminados frente a materiales como el hormigón, el acero estructural y el ladrillo cerámico.

Tabla 2. Comparación de emisiones de CO₂ entre materiales de construcción [11]

Material	Emisiones de CO ₂ (kg/m ²)
Paneles contra laminados	25,80 - 140,32
Hormigón armado	300 - 400
Acero estructural	800 - 1200
Ladrillo cerámico	150 - 250

A partir de estos resultados, se identificaron oportunidades para disminuir la huella de carbono de los paneles contra laminados, empleando herramientas especializadas de análisis de ciclo de vida (LCA) [11], la cual es una herramienta metodológica utilizada para evaluar los impactos ambientales asociados a un producto, proceso o actividad a lo largo de todas las etapas de su existencia, es una herramienta clave para promover la sostenibilidad, ya que ayuda a reducir la huella ambiental de productos y servicios mediante la optimización de recursos y la minimización de impactos negativos.

Entre las estrategias se incluye la optimización de los procesos de fabricación para disminuir residuos y consumo energético, la utilización de adhesivos ecológicos, ya que estos no solo son compatibles con las propiedades estructurales del CLT, sino que también refuerzan su perfil sostenible, por que al estar libres de compuestos tóxicos como el formaldehído, garantizan que los paneles mantengan su estabilidad dimensional y resistencia mecánica sin comprometer la salud humana ni el medio ambiente el reciclaje de paneles usados, la incorporación de fuentes de energía renovable en su producción y el diseño sostenible que facilite su reutilización [12]. Estas medidas buscan disminuir la huella de carbono y potenciar la eficiencia ambiental del sector construcción [13, 14].

De igual manera, se llevó a cabo un análisis detallado del estado actual de la economía circular en la construcción venezolana (Tabla 3), con el propósito de comprender su grado de implementación y los desafíos presentes en el sector, estas acciones no solo buscan mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también maximizar la eficiencia ambiental en el sector de la construcción, alineándose con los principios de la economía circular, destacando aspectos esenciales como los desafíos estructurales y culturales, así como las oportunidades para fomentar prácticas sostenibles en proyectos constructivos. A partir de este diagnóstico, se plantean iniciativas como el desarrollo de marcos regulatorios, la capacitación de trabajadores y la promoción de alianzas público-privadas, que son indispensables para consolidar la economía circular en el contexto venezolano.

Tabla 3. Análisis del estado actual de la economía circular en la construcción

Aspectos	Detalles
Grado de implementación	<ul style="list-style-type: none"> -Uso limitado de prácticas de reciclaje y reutilización de materiales. - Enfoques incipientes en proyectos de construcción sostenible. - Potencial sin explotar en zonas urbanas y rurales.
Barreras y desafíos	<ul style="list-style-type: none"> - Infraestructura insuficiente: falta de instalaciones para gestionar residuos. - Cultura y aceptación: Resistencias hacia materiales reciclados. - Falta de incentivos: Políticas regulatorias débiles.
Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> -Innovación tecnológica en materiales sostenibles. -Generación de empleo en reciclaje y manufactura. -Reducción de impacto ambiental al disminuir residuos y emisiones.
Casos de estudio	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos piloto en viviendas ecológicas. -Uso experimental de CLT reciclado en construcciones locales. -Ejemplo de sistemas circulares en países vecinos como Colombia o Brasil.
Recomendaciones	<ul style="list-style-type: none"> -Desarrollo de marcos regulatorios que promuevan incentivos fiscales. -Sensibilización y capacitación para trabajadores de la industria. -Establecimiento de alianzas público-privadas para fomentar la economía circular.

Se identificaron diversas barreras que dificultan la integración de paneles de madera contra laminados, incluyendo aspectos técnicos, como la falta de conocimiento sobre las propiedades estructurales y resistencia de estos paneles en comparación con materiales tradicionales; económicos, como los costos iniciales más altos en comparación con opciones convencionales y normativos por regulaciones poco claras o insuficientes sobre el uso de materiales reciclados en la construcción.

A partir de la información recopilada, se diseñaron estrategias específicas destinadas a superar estas barreras y facilitar la adopción de prácticas más sostenibles, tal como promover el conocimiento sobre los beneficios de los paneles, fomentar políticas de apoyo financiero para proyectos que integren materiales reciclados e incentivar el desarrollo de regulaciones que faciliten la adopción de estos materiales en el sector.

Para la elaboración del manual práctico, se recopiló información detallada a partir de los datos y análisis obtenidos de la Tabla 2 de los datos de la huella de carbono entre los paneles CLT y materiales tradicionales como el hormigón armado, el acero estructural y el ladrillo cerámico, lo que permite evaluar bajo una clasificación de “muy alto impacto” o “bajo impacto”, el impacto ambiental de cada material en comparación al significativamente menor de los CLT.

La Tabla 4 sintetiza estos hallazgos, proporcionando un panorama claro sobre las emisiones de CO₂ asociadas a cada material, pero no solo bajo su consumo energético sino también su durabilidad y mantenimiento, su reciclabilidad y reutilización y el impacto en la salud humana. Este análisis refuerza la importancia de adoptar prácticas más sostenibles y tecnológicamente avanzadas en el contexto venezolano. Esto incluyó estudios sobre técnicas de reciclaje y reutilización, cálculos de la huella de carbono, y estrategias para la integración de los paneles de CLT en la economía circular. Una vez reunida la información clave, se organizó el contenido en secciones claras y estructuradas, facilitando su comprensión y aplicación.

Tabla 4. Comparación de impacto ambiental entre materiales de construcción

Material	Emisiones de CO ₂ (kg/m ²)	Impacto ambiental
Paneles contra laminados (CLT)	25,80 - 140,32	Bajo impacto, material renovable y reciclable
Hormigón armado	300 - 400	Alto impacto, alta emisión de CO ₂ en producción
Acero estructural	800 - 1200	Muy alto impacto, requiere gran consumo energético
Ladrillo cerámico	150 - 250	Impacto medio-alto, depende del proceso de fabricación

Finalmente, se diseñó un manual práctico con instrucciones detalladas para la implementación de estas estrategias en el ámbito de la construcción (Figura 1). Este manual no solo establece un marco claro y accesible para la adopción de prácticas sostenibles, sino que también ofrece recomendaciones adaptadas al contexto local, considerando los retos y oportunidades específicos de la construcción en Venezuela.



Figura 1. Flujograma para el uso del CLT en la construcción sostenible

El manual incluye pasos estructurados que abarcan desde la evaluación inicial de materiales y recursos disponibles hasta la ejecución de proyectos piloto, que podrían enfocarse en la construcción de viviendas ecológicas, edificios públicos o espacios comunitarios utilizando paneles CLT. Estos proyectos no solo servirían para demostrar las ventajas técnicas y ambientales del material, sino también para sensibilizar a los actores involucrados, como constructores, arquitectos y comunidades locales, sobre su potencial. Cada paso está diseñado para promover la innovación y garantizar la eficiencia en todas las etapas del proceso de construcción.

El manual mencionado, enfatiza la importancia de la colaboración entre los diferentes grupos involucrados, como empresas constructoras, instituciones educativas, gremios y el gobierno, promoviendo un enfoque integral para consolidar la transición hacia una economía circular en el ámbito de la construcción.

Por último, se proponen iniciativas como programas de capacitación y talleres, ya que, en Venezuela, varias instituciones y expertos independientes podrían colaborar en la organización de estas charlas en la construcción sostenible y el uso de paneles CLT, que refuercen las competencias técnicas necesarias, tanto regionales, nacionales como internacionales. Estas actividades también están orientadas a sensibilizar a los participantes sobre los beneficios de las prácticas sostenibles, subrayando su impacto favorable en

la conservación ambiental y el impulso de la economía nacional. Este enfoque integral no solo facilita la implementación de los paneles CLT, sino que también crea un modelo replicable y escalable para futuras iniciativas en la construcción venezolana

Conclusiones

El estudio permitió evaluar la viabilidad y el impacto ambiental de los paneles de madera contra laminados (CLT) en la construcción venezolana, destacando su potencial para impulsar un modelo más sostenible y alineado con la economía circular. A partir del análisis de sus propiedades físicas, emisiones de carbono y barreras de adopción, se desarrollaron estrategias concretas para su implementación, asegurando su viabilidad técnica, económica y normativa. Los hallazgos demostraron que el CLT presenta una huella de carbono considerablemente menor en comparación con materiales tradicionales como el hormigón y el acero, lo que lo posiciona como una alternativa ecológica, adaptable a cualquier clima y que con el mantenimiento necesario pueden mantener su funcionalidad y estética durante décadas.

Sin embargo, En Venezuela, el uso de materiales renovables en la construcción representa un porcentaje bajo en comparación con otros países de América Latina, menos del 5% de los desechos generados en el país son reutilizados, lo que refleja un bajo nivel de integración de prácticas sostenibles. En contraste, países como Brasil y Colombia tienen porcentajes significativamente más altos en el uso de materiales reciclados y renovables, entre el 20 y 30% gracias a políticas públicas y programas de incentivo. No obstante, su integración en Venezuela enfrentó desafíos estructurales, como la falta de regulaciones específicas, el desconocimiento técnico y las limitaciones económicas. Para abordar estos obstáculos, se propusieron medidas estratégicas, incluyendo normativas claras, incentivos financieros y proyectos piloto destinados a demostrar la eficiencia del CLT en distintos contextos constructivos.

Asimismo, se diseñó un manual práctico con pasos detallados para la adopción del CLT en la construcción venezolana, proporcionando herramientas para facilitar su incorporación en el mercado. Este enfoque integral permitió establecer un marco de acción realista, basado en experiencias internacionales y estudios técnicos que validaron su implementación en el país.

En definitiva, el CLT representa una oportunidad clave para transformar la industria de la construcción en Venezuela, promoviendo eficiencia energética, reducción de emisiones y una gestión más responsable de los recursos naturales. Su aplicación depende de la colaboración entre el sector público, privado y académico, demostrando que, con planificación adecuada y voluntad de cambio, la construcción sostenible puede convertirse en una realidad tangible en el país.

Referencias bibliográficas

[1] I. F. Medina-Arboleda y P. F. Páramo-Bernal, “La educación ambiental y para el cambio climático en Latinoamérica: una revisión de alcance,” *Suma Psicológica*, vol. 31, no. 1, pp. 63–93, ene.–jun. 2024. doi: 10.14349/sumapsi.2024.v31.n1.8. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-43812024000100063

[2] J. T. Franco, “¿Es la madera laminada cruzada (CLT) el hormigón del futuro?,” *ArchDaily en Español*, 14 ago. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.archdaily.cl/cl/921337/es-la-madera-laminada-cruzada-clt-el-hormigon-del-futuro>

[3] H. Striegel, “El Método de la Valoración del Ciclo de Vida (LCA),” *DIN/ISO 14040 Series*, 2000. [En línea]. Disponible en: https://www.oc-praktikum.de/nop/es/articles/pdf/LCAMethod_es.pdf

[4] C. A. do Nascimento, “Posibilidades para el desarrollo de la tecnología de madera contralaminada (CLT) y su aplicación en la construcción: estudio sobre la situación actual en Brasil,” Tesis de Máster, Univ. Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2020.

- [5] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “El estado de los bosques del mundo 2024: Innovaciones en el sector forestal hacia un futuro más sostenible,” 13 jul. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd1211es>
- [6] J. Hurtado de Barrera, Metodología de la Investigación Holística, 3ª ed. Caracas, Venezuela: SYPAL, 2000.
- [7] J. Galván, R. Carabaño, I. Oteiza y E. Martínez, “Madera contralaminada (CLT), situación actual. Alternativa para una construcción sostenible en España,” en *I Congr. Int. sobre Investigación en Construcción y Tecnología Arquitectónicas*, Univ. Politécnica de Madrid, ETSAM, Madrid, España, jun. 11–13, 2014.
- [8] R. Medeiros, “Catálogo Técnico CLT Hílam Arauco,” Arauco, Chile, 2025. [En línea]. Disponible en: https://arauco.com/hilam/wp-content/uploads/sites/29/2025/06/Catalogo_Hilam_2025.pdf
- [9] Global Market Insights, “Mercado de paneles a base de madera Tamaño y compartir 2025-2034,” Informe GMI6553, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.gminsights.com/es/industry-analysis/wood-based-panel-market>
- [10] NIUFORM, “Detalles constructivos en CLT,” Guía técnica, Santiago de Chile, Chile, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://niuform.cl/detalles-constructivos-en-clt-niuform/>
- [11] M. Perevochtchikova, “La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales,” *Gestión y Política Pública*, vol. 22, no. 2, pp. 283–312, ene. 2013. doi: 10.22201/cide.14051079e.2013.22.2.1. [En línea]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001
- [12] Slow Studio, “Sistemas constructivos / Construcción con madera contralaminada CLT - Llevando la resistencia estructural de la madera al máximo,” *Slow Studio Research*, 9 nov. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.slowstudio.es/research/construccion-con-madera-contralaminada-clt>
- [13] T. A. Cristóbal Astete, “Evaluación de propiedades estructurales de madera contralaminada (CLT) fabricada con especies forestales de mediana densidad nativas del Perú para construcciones sustentables,” Tesis de Pregrado, Univ. Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10275>
- [14] Y. Zhang y L. Cheng, “Eficiencia energética en construcción: óptimo consumo de energía,” *En Obra*, 25 may. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.en-obra.com/es/noticias/construccion-representacion-el-40-del-uso-de-energia>