

Theoretical Review of the Physical Characteristics and the Carbon Footprint of the Wood in Structural Applications

Revisión Teórica de Características Físicas y de la Huella de Carbono de la Madera en Aplicaciones Estructurales

P. Guerrero¹ J. Sánchez¹

¹Instituto Superior Tecnológico del Azuay, Cuenca, Ecuador
E-mail: info@tecazuay.edu.ec

Abstract

The purpose of this research is to present a theoretical review to answer the questions: does building construction with forest products generate a negative carbon footprint? and, does forest products offer equal or better characteristics than conventional building materials, with regard to sustainability, energy spent, toxicity to the environment, and structural resilience? A review of previous research work was performed, which have proposed that wood is an excellent option for structural applications, panels, floor, and interior design, in every kind of immovables; due to its structural resilience, durability, thermal comfort, maintenance requirements, and its environmental benefits.

The methodology applied it is based on a qualitative analysis, performed by means of a literature review. As a result, a conceptual framework is presented where the importance of the wood in structural applications is highlighted. The theoretical review includes a comparison between wood and conventional building materials, with regard to tenacity to fire, seismic resilience, and carbon footprint. Finally, important characteristics for structural applications are presented.

Index terms— Carbon footprint; Forest elements; Fireproofing; Resistance; Seismic forces.

Resumen

El propósito de esta investigación es presentar una revisión teórica que responda a las preguntas: ¿La construcción de edificaciones con productos forestales genera una huella de carbono negativa?, y ¿Ofrecen los productos forestales iguales o mejores características que los materiales convencionales para construcción, en lo que respecta a la sostenibilidad, gasto de energía, toxicidad al medio ambiente y resistencia sísmica? Para ello, se aplicó una revisión de estudios o investigaciones existentes, los cuales proponen que la madera es una excelente opción en aplicaciones estructurales, paneles, piso y en diseño de interiores en todo tipo de inmuebles; debido a su resistencia, durabilidad, confort térmico, requerimientos de mantenimiento y a los beneficios que le brinda al medio ambiente.

La metodología que se utilizó se fundamenta en un análisis cualitativo aplicado mediante una revisión bibliográfica. Como resultado se presenta un marco conceptual en el que se destaca la importancia de la madera en aplicaciones estructurales. Se incluye una comparación entre la madera y otros materiales de construcción considerados convencionales, en lo que respecta a tenacidad al fuego, resistencia sísmica, y huella de carbono. Finalmente se exponen las características del bambú en aplicaciones estructurales.

Palabras clave— Huella de carbono; Ignifugación; Resistencia; Fuerzas sísmicas.

Recibido: 04-10-2019, Aprobado tras revisión: 19-12-2019

Forma sugerida de citación: P. Guerrero, J. Sánchez y M. Sarmiento, "Revisión Teórica de Características Físicas y de la Huella de Carbono de la Madera en Aplicaciones Estructurales", *ÑAWPAY Revista Técnica Tecnológica*, vol. 1, no. 2, pp. 13-20, 2019.

1. INTRODUCCIÓN

Durante muchos años la madera ha sido un elemento fundamental para las edificaciones construidas por el hombre, a pesar que las antiguas civilizaciones (romanos, egipcios, griegos, persas) hayan elaborado edificios con otros materiales como: ladrillo, mármol o piedra, las viviendas de las grandes ciudades estaban formadas por madera sin tratar [1].

La fabricación de materiales de construcción contamina el medio ambiente, debido al combustible que utilizan para su producción. La industria de la construcción utiliza gran cantidad de energía en los procesos de transformación de materias primas, afectando de manera directa los niveles de carbono que se generan en el medio ambiente [2].

En la actualidad existen tendencias ecologistas que buscan preservar el medio ambiente, a través del empleo de materiales naturales como el bambú, palma de coco u otros. La madera como material de construcción presenta diversos beneficios en comparación con materiales convencionales, como bloque, adobe, hormigón, que tienen menor resistencia ante sismos, temperaturas elevadas o son menos aislantes.

Por otra parte, la construcción ecológica es una ideología que busca establecer espacios saludables, mejorar la calidad de vida en un entorno seguro, resistente y durable [3]. Ante esta situación surgieron preguntas como: ¿La construcción de edificaciones con elementos del bosque crea una huella de carbono negativa? ¿Ofrecen los productos forestales iguales o mejores características que los materiales convencionales, en lo que respecta a la sostenibilidad, gasto de energía, toxicidad al medio ambiente y resistencia? Para responder a estas interrogantes se obtuvo información a través de revisión bibliográfica, donde se recopilaban datos relevantes, para conseguir una perspectiva más completa sobre el estado actual del tema. En este artículo el lector encontrará un marco conceptual sobre la importancia de la madera en la construcción, comparación de la madera y otros materiales, la madera y su tenacidad al fuego, la resistencia de la madera ante las fuerzas sísmicas, la huella de carbono y el bambú como elemento para la construcción ecológica, la metodología, la discusión de resultados y las conclusiones.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La madera en la construcción

La madera es un componente orgánico manejado en la construcción, al poseer diversas características que la hacen atractiva al emplearse como material estructural para una vivienda [4].

Las propiedades de la madera son:

Básicas. - Indistintamente de la especie, la madera tiene

particularidades biológicas porque es un material biodegradable; por lo tanto, se debería tomar las medidas pertinentes para su cuidado y durabilidad; es anisotrópica, ya que algunos factores varían según la dirección longitudinal de sus fibras de crecimiento y también higroscópica por la capacidad de captar humedad del ambiente [4].

Físicas. - Dependiendo de las condiciones ambientales la estructura de la madera almacena una cantidad abundante de agua, el volumen fluctúa según el contenido de humedad ocasionando el hinchamiento de la madera. Sin embargo, la hinchabilidad hace que resista al corte en el sentido de las fibras, paralelos al eje del tronco [4].

Eléctricas. - La madera anhidra es un magnífico aislante eléctrico, característica que disminuye a medida que se incrementa la capacidad de la humedad [4].

Acústicas. - Este componente amortigua las vibraciones sonoras a grandes distancias, ya que su sistema celular permeable transforma la energía sonora en calórica [4].

Térmicas. - El material no transfiere su temperatura por la lignina, esto dependerá de su densidad [4].

Mecánicas. - Estas propiedades determinan la capacidad para resistir a energías externas a cualquier factor que altere su forma o dimensión [4].

La construcción ecológica, como estrategia ahorra significativamente recursos a largo plazo. Asimismo, busca eficiencia energética y un retorno positivo sobre la inversión, motivo por el cual se desea combinar materiales ecológicos que conserven el ambiente desde la fabricación hasta cuando la vivienda esté terminada o haya alcanzado su función y sea demolida [5].

2.2. La madera y su resistencia al fuego

Los inmuebles construidos con madera pueden reaccionar adecuadamente al fuego, si se han estudiado con anticipación los efectos de los materiales de madera empleados para la edificación.

Los factores que inciden en la respuesta de los materiales de construcción al fuego son: la aportación al incendio, la inflamabilidad y el desprendimiento de partículas. A pesar de ello, hay otras variables como: el tipo de madera, densidad, grosor y condiciones del producto terminado. Se puede mejorar la resistencia de la madera frente al fuego con la ayuda de tratamientos ignífugos [6].

2.2.1. Ignifugación de la madera

La madera está compuesta por hidratos de carbono; por ende, entrará en combustión si es expuesta al fuego, quemándose de afuera hacia adentro. No obstante, es posible proteger la madera con materiales aislantes y absorbentes del calor p.ej.: yeso, lacas minerales, etc. Existen productos ignífugos que retardan el desprendimiento de gases inflamables, reducen la incandescencia del carbón y disminuyen la formación de emanaciones combustibles [7].

Los beneficios de ignifugar la madera son los siguientes:

- Las estructuras soportan altas temperaturas.
- Mayor estabilidad y resistencia según el espesor y productos aplicados.
- Retardo de los efectos del fuego en las construcciones, permitiendo el desalojo inmediato.
- Resguarda los bienes durante un incendio [8].

2.3. Las fuerzas sísmicas en las estructuras de madera

La energía liberada en la litosfera terrestre genera ondas sísmicas que provocan vibraciones horizontales y verticales potentes en la superficie del suelo, a este fenómeno se lo conoce como terremoto. Al disponer de un sistema estructural resistente con principios de igualdad, simplicidad y continuidad, que reduzca la masa del inmueble y posea una alta capacidad de disipación, las fuerzas sísmicas disminuirán.

La disipación de energía se origina cuando los materiales sobrepasan el techo elástico y se altera la ductilidad de los mismos, este comportamiento está vinculado con la redundancia estructural y con la transformación por presión de la forma en las uniones de las estructuras de madera.

Las uniones mecánicas trabajan como fusibles, porque absorben energía sísmica y deben soportar grandes deformaciones sin colapsar, mientras que los elementos de madera deben ser capaces de resistir las cargas que le transmiten los elementos de unión dúctiles. La ductilidad se alcanza cuando la capacidad del elemento frágil (madera) es mayor que la del componente dúctil [9].

2.3.1. Pandeo en columnas

El pandeo es un comportamiento de los elementos estructurales sometidos a esfuerzo de compresión [10].

En materiales de madera debe agregarse la incapacidad de elaborar piezas totalmente rectas, la elasticidad, conductividad y velocidad de propagación de la luz en los materiales, entre otros. En las estructuras de madera las uniones no son plenamente rígidas; por ende, las circunstancias de contorno pueden ser incorporables a las del doble apoyo; caso contrario, la esbeltez mecánica se conseguiría con la longitud eficaz del pandeo, descartando la real [11].

2.4. Comparación de la madera y otros materiales de construcción

El análisis comparativo de los diferentes materiales empleados para la construcción de edificaciones se fundamentó en un edificio de 4 pisos con 8 departamentos en cada piso. Los parámetros para comparar los diferentes sistemas de fabricación (madera y convencionales) son los siguientes: gasto de energía, toxicidad ambiental y residuos sólidos. Los materiales convencionales hacen referencia al hormigón y ladrillo.

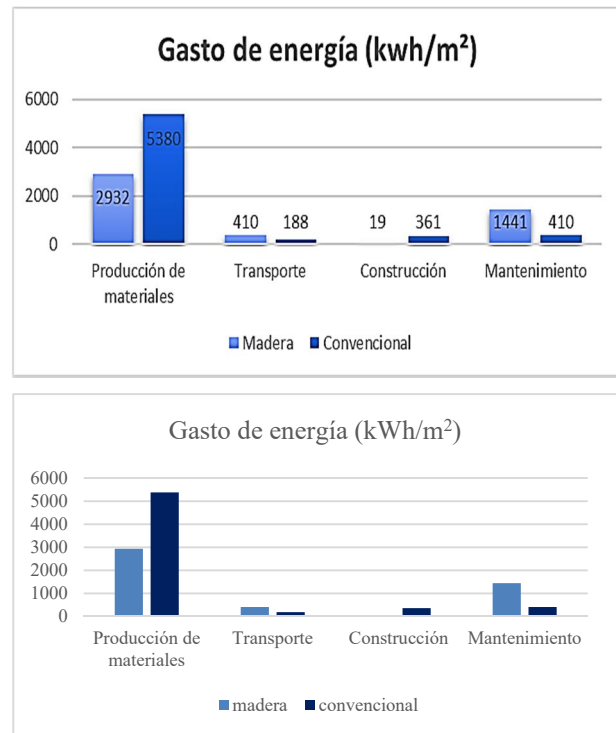


Figura 1: Gasto de energía en el ciclo de vida de la construcción en madera versus la convencional.

Fuente: Wandel, 2009. Elaboración propia.

El consumo total de energía en construcciones de madera se ha fijado en un promedio de 4 802 kWh/m², donde su composición revela que la producción de materiales representa un 61%, seguido del 30% en mantenimiento; el transporte con un 8% y la construcción con un valor menor al 1%. De la misma forma, el análisis del gasto energético en edificaciones convencionales tiene un total de 6 339 kWh/m², en el que la producción de materiales figura un 85%, luego el mantenimiento con un 6%, la construcción con un 6% y el menor dispendio lo registra el transporte con un 3%. Se evidencia la supremacía en el consumo energético de la construcción convencional versus las estructuras de madera en un 132%, el rubro más alto es la producción de materiales porque requieren de procesos complejos para la transformación de materia prima en producto terminado.

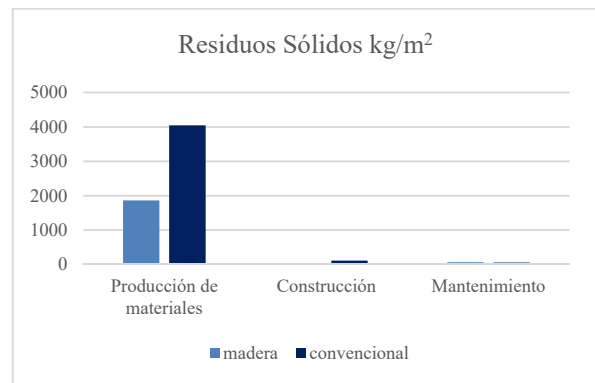
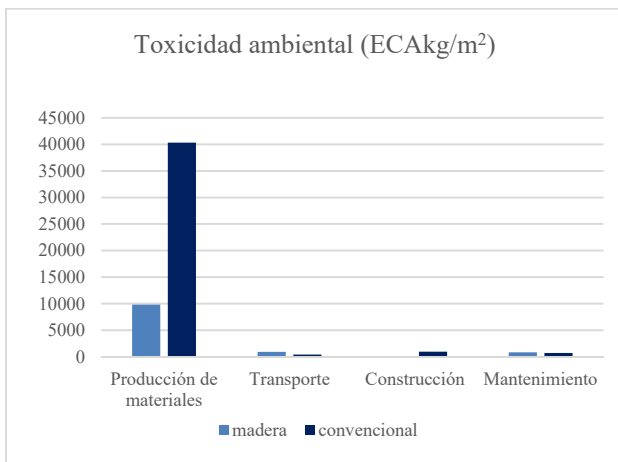
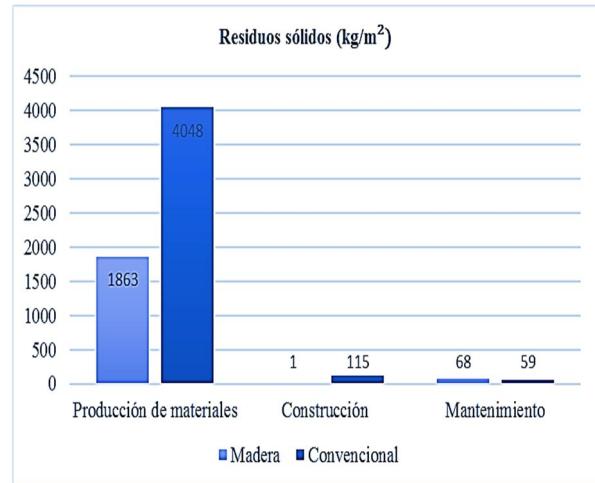
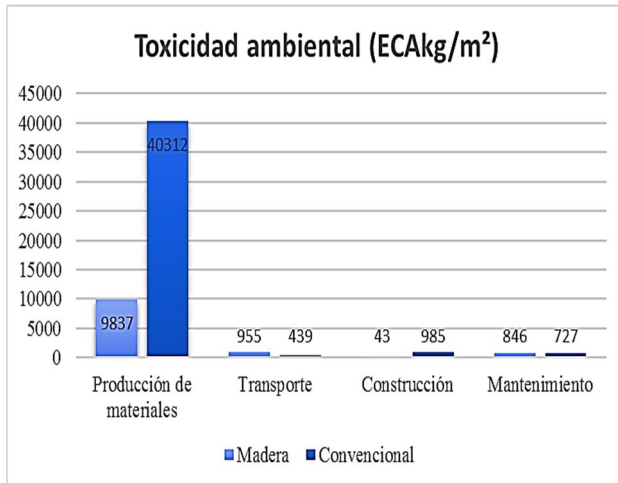


Figura 2: Toxicidad ambiental en el ciclo de vida de la construcción en madera versus la convencional.

Fuente: Wandel, 2009. Elaboración propia.

Figura 3: Residuos sólidos producidos en el ciclo de vida de la construcción en madera versus la convencional.

Fuente: Wandel, 2009. Elaboración propia.

La variable con mayor índice de contaminación con relación a productos fabricados en madera es la producción de materiales con un 84%, entre transporte y mantenimiento suman un 15% y construcción con menos del 1%. Con respecto a la construcción convencional el 95% de emisiones son causadas por la producción de materiales, el restante 5% está conformado por transporte, construcción y mantenimiento.

El estudio de la toxicidad ambiental desvela que la construcción convencional contamina un 363% más que los inmuebles elaborados con madera.

Los residuos sólidos de ambos tipos de construcción exhiben que la producción de materiales ocupa un 96% mientras que el 4% restante lo constituyen construcción y mantenimiento. Estos datos demuestran que la construcción convencional deja una huella de carbono positiva que supera en un 219% a la edificación en madera.

Las construcciones sostenibles se elaboran con componentes no derivados del petróleo y biodegradables. Las viviendas de madera son opciones más ecológicas que las de hormigón y ladrillo. Las edificaciones de materiales comunes tienen un tiempo de duración estimado de 40 años, en tanto las de madera duran alrededor de 200 años [12].

La resistencia en compresión de madera, oscila entre los 16-23 N/mm², el hormigón armado posee valores alrededor de 20-30 N/mm² y el acero 215-460 N/mm², estos dos últimos son menos resistentes [13].

El esfuerzo de flexión en la madera fluctúa entre 14-30 N/mm² y para materiales de hormigón en 1,5-5,0 N/mm². La madera es ideal para la construcción de vigas o elementos de entramado cuya característica elemental es

la resistencia en flexión y compresión, examinando de forma pormenorizada el elemento y la especie [13].

Los incendios, generalmente no comienzan por la estructura de madera, porque esta no colapsa fácilmente como otros materiales comunes frente al fuego, más bien se quema de afuera hacia adentro, debido a su baja conductividad térmica; es decir, la temperatura disminuye hacia el interior. En caso de un incendio las uniones son las más vulnerables; a pesar de ello puede prevenirse mediante la utilización de elementos metálicos. Si se ha perdido el control en el siniestro, esto permitiría una correcta evacuación. Los materiales que usualmente se emplean en la construcción (hormigón, acero) presentan mayor riesgo porque en un incendio el calor se expande aceleradamente a través de las piezas, estas a su vez se dilatan y ocasionan derrumbes de la estructura [14].

2.5. La huella de carbono

Se denomina huella de carbono (HdC) al conjunto de emisiones de efecto invernadero producidos de forma directa o indirecta por las personas, industrias, acontecimientos o bienes. La totalidad de gases emitidos se mide en términos de CO₂ equivalentes. El ciclo de vida de los productos de madera deja una HdC menor que el cemento, el plástico, el metal o los ladrillos, los cuales se utilizan comúnmente [15].

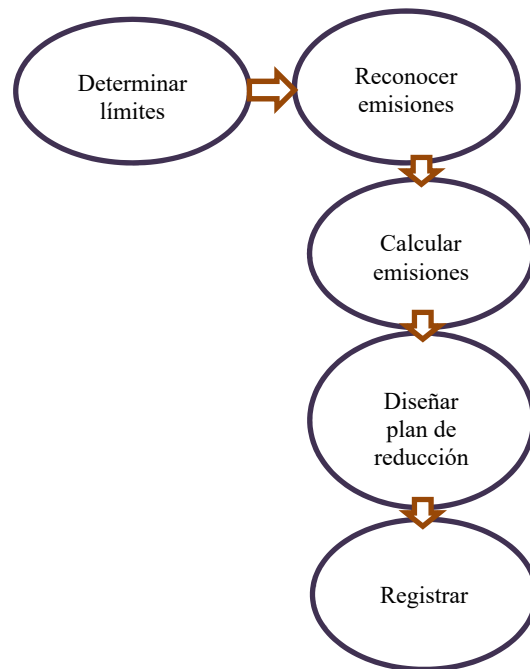


Figura 5: Pasos para calcular la huella de carbono.

Fuente: Santaclara, Merlo, & Gazulla, Cristina (2015). Elaboración propia.

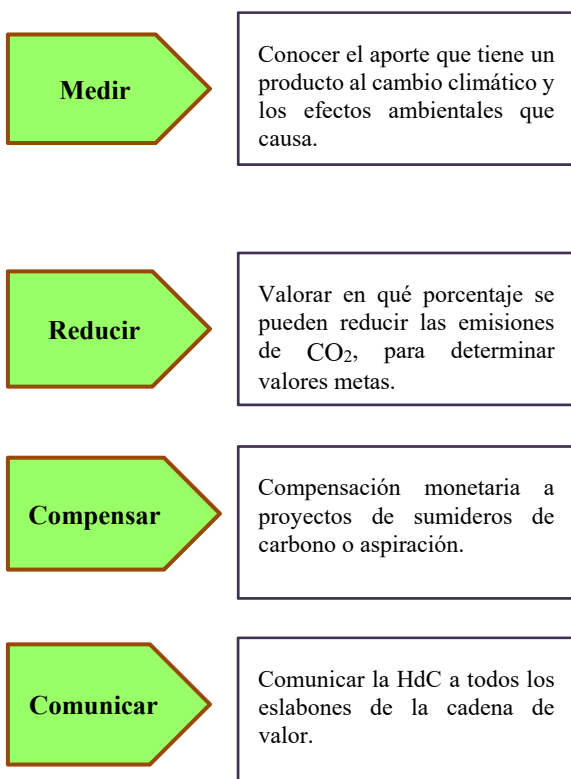


Figura 4: Estrategias de la huella de carbono.

Fuente: Santaclara, Merlo, & Gazulla, Cristina (2015). Elaboración propia.

La construcción de viviendas deja tras de sí una huella en el ecosistema; esta se desarrolla en cualquier fase del proceso, durante el transporte de materiales, la fabricación del inmueble o al devolver los elementos ya transformados a la naturaleza.

Luego de haber participado en el proceso productivo se puede decir que la huella es positiva cuando ha existido una emisión de gases de efecto invernadero (misma que se puede contabilizar en toneladas de CO₂ propagados al medio ambiente); pero existe también la huella negativa; es decir, los materiales han aislado el CO₂; por lo tanto, no han generado contaminación ambiental. Esto generalmente ocurre cuando la construcción ha sido realizada con madera como elemento principal, hecho que tiene un impacto positivo en la disminución de gases contaminantes [16].

Es importante destacar que, si la empresa que provee madera, maneja políticas de responsabilidad ambiental, por cada unidad talada, plantará un árbol joven y contribuirá a que a través de la fotosíntesis se capte más CO₂, entonces se tendría doble beneficio para el medio ambiente.

El Consejo Canadiense de Madera, Energía y el Ambiente en Construcción Residencial (*The Canadian Wood Council, Energy and the Environment in Residential Construction*), indica que las edificaciones con estructuras de acero y hormigón armado, ocasionan emisiones de efecto invernadero en un 34% y 81 %, más que diseñar en madera. Al mismo tiempo, las estructuras con materiales convencionales liberan entre 24% y 47%

más contaminantes en el aire que los elaborados con materiales de procedencia natural (madera, bambú, palma de coco).

La madera almacena cerca de 1,6 toneladas de dióxido de carbono por metro cúbico del elemento, esto depende de la especie y procedimientos ejecutados en la plantación. La casa tradicional de madera capta 28 toneladas de CO₂, correspondiente a la combustión de 12 500 litros de gasolina [17].

2.6. El bambú como elemento para la construcción ecológica

El bambú durante varias décadas ha sido utilizado por el ser humano para mejorar su calidad de vida. Hoy en día, este material conserva una ventaja en relación al plástico y acero. Las propiedades antisísmicas le han dado gran valor al elemento.

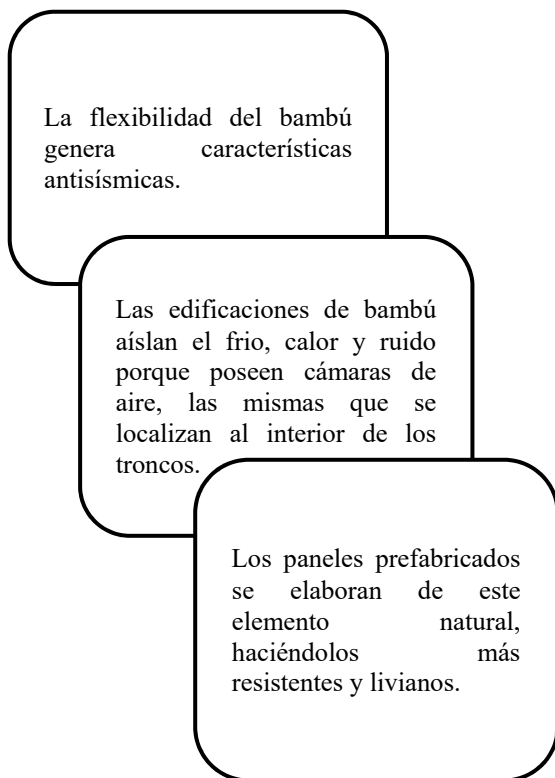


Figura 6: Ventajas del bambú como elemento para la construcción [18].

El bambú es un elemento natural renovable de fácil producción, económico, ligero y de acelerado crecimiento. En sí, el bambú permite agilizar el proceso de cimentación; con una correcta planificación se obtiene una estructura robusta y flexible de forma que absorbe las cargas formadas por movimientos telúricos sin deteriorar su estructura. Por ello, existe un alto porcentaje de aceptación en zonas rurales.

En zonas tropicales y subtropicales el bambú tiene nombre propio al momento de levantar una construcción,

al ser un material accesible, de bajo costo y rápida reparación, no solo en soluciones habitacionales, sino también en estructuras para cría de ganado y otras áreas productivas.

Del bambú se deriva un abanico de productos de alta rotación, resulta ser una alternativa a los artículos fabricados de madera con un beneficio en costos y una característica poco divulgada entre sus usuarios, la reducción de elementos generadores de contaminación. [19].

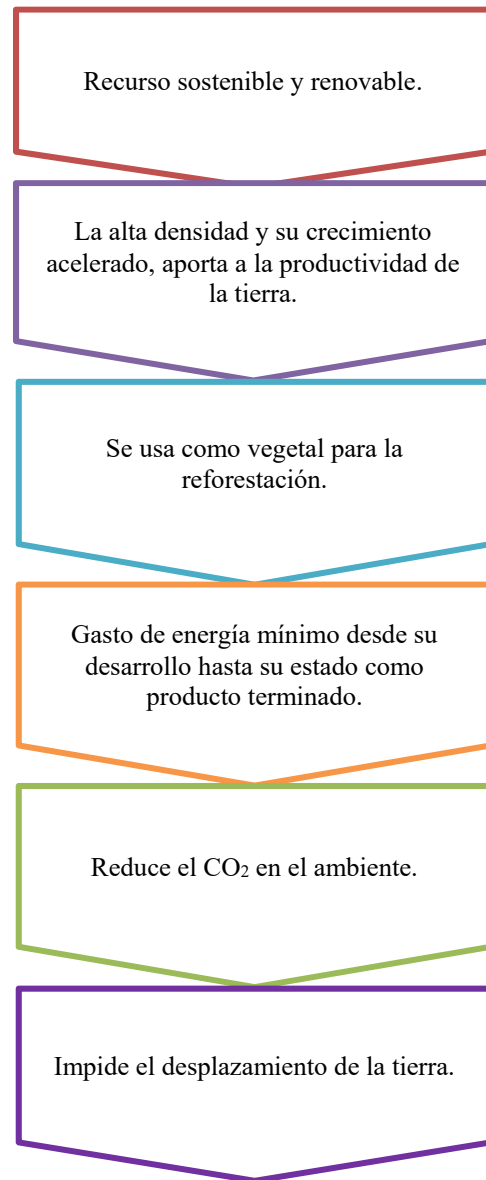


Figura 7: Impacto ambiental del bambú.

Fuente: Escalona, Hernández & Requena. Elaboración propia.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación acerca de los elementos del bosque para la construcción, partió de un análisis

bibliográfico. El estudio responde a las preguntas ¿La construcción de edificaciones con elementos del bosque crea una huella de carbono negativa? ¿Ofrecen los productos forestales iguales o mejores características que los materiales convencionales, en lo que respecta a la sostenibilidad, gasto de energía, toxicidad al medio ambiente y resistencia?

Se realizó una indagación con base a un estudio cualitativo en el cual se evaluó e interpretó información valiosa con el fin de identificar la situación actual de las construcciones con materiales convencionales versus las edificaciones con elementos naturales de la flora y cómo estas benefician o perjudican al medio ambiente y al ser humano.

Se elaboró un marco conceptual sobre la importancia de la madera en la construcción, comparación de la madera y otros materiales de construcción, la madera y su tenacidad al fuego, la resistencia de la madera ante las fuerzas sísmicas, la huella de carbono y el bambú como elemento para la construcción ecológica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El último siglo ha sido una plataforma de competencia para que las economías desarrolladas y las emergentes tiendan a construir los edificios como símbolo de poder y estatus, siendo los principales materiales usados el acero y el hormigón. El profundo estudio de sus inigualables características ha llevado a perpetuarlos en la construcción de majestuosas edificaciones con beneficios de estabilidad y resistencia frente a circunstancias de riesgo inminente como sismos o eventos naturales severos.

Las estadísticas indican que a nivel mundial un 50% de la población reside en zonas urbanas con una tendencia al alza de forma que dentro de 30 años esta ascendería a un 70%. Entonces la industria de la construcción se enfrentaría al reto de ofrecer soluciones habitacionales para solventar estos requerimientos, pero intrínseca a su naturaleza de material prodigioso se encuentra también su capacidad de generar gases contaminantes en los procesos de elaboración de materiales convencionales, tales como: ladrillo y hormigón, por mencionar los más importantes dentro del rubro. [17]

Los productos forestales ofrecen mejores características que los materiales convencionales, en lo que respecta a la sostenibilidad, gasto de energía, toxicidad al medio ambiente y resistencia. La madera al ser un elemento de origen orgánico, beneficia al medio ambiente, ayuda a reducir emisiones perjudiciales para el ecosistema y es un material resistente a los movimientos telúricos. De la misma manera, el gasto en energía es mayor en la producción de materiales convencionales con un 84%, seguido de la construcción y mantenimiento con un total de 16% en comparación a los elementos fabricados con madera el índice se sitúa en un 61%. El grado de toxicidad es más representativo en la producción de materiales convencionales con un 95%; a su vez, es el

proceso que más residuos genera con un 96% porque requieren de procedimientos complejos para la transformación de materia prima en producto terminado; asimismo, la formación de residuos sólidos en la madera es escasa, ya que la mayoría de veces se destinan a otras operaciones o actividades como: reprocesamiento, material para chimeneas o establos entre otros.

El manejo de materiales del bosque para la construcción hace a la huella de carbono negativa; en otras palabras, mitiga el cambio climático y reduce gases de efecto invernadero; también, ofrece aislación térmica, buen desempeño en construcciones altas y bajos costos.

5. CONCLUSIONES

En la investigación se dio a conocer al lector el contexto en el que se desenvuelve la industria de la construcción y el papel que puede desempeñar la madera como nuevo protagonista en un mundo en el que la contaminación ambiental está manifestándose en forma de poderosos cambios climáticos y desastres naturales, que están poniendo en tela de duda si el hombre está administrando correctamente los elementos naturales de los que ha dispuesto sin limitaciones. Ahora más que nunca empieza a golpear la conciencia del ser humano al entender que los cambios de un futuro no muy lejano son casi irreversibles y que aún puede remediar el daño causado buscando alternativas para reducir la emisión de elementos contaminantes. A través de los datos obtenidos mediante un análisis bibliográfico se lograron establecer algunos factores que inciden directamente sobre el desempeño de la madera frente a un caso de incendio, los que se describen a continuación: El porcentaje de humedad contenido en una construcción con estructuras de madera fluctúa entre un 8% y un 15%, esto quiere decir que antes de empezar a combustionar se debe evaporar un aproximado de entre 80 y 150 kg de agua por cada tonelada de madera.

La densidad de la madera varía en cada especie y va a depender de esta, para comprender su reacción frente al fuego. Se ha determinado que mientras mayor sea su densidad, menor será su propensión a arder; por ende, su combustión también sería más lenta.

Las hendiduras en las fibras de la madera propagan rápidamente el fuego, algo frecuente en la madera maciza; a diferencia de las piezas de madera laminada, en donde apenas encontramos fendas y la velocidad de carbonización disminuye considerablemente.

En la actualidad las tendencias de construcción ecológicas se centran en elementos procedentes del bosque por las ventajas que presentan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] B. Basterra. (2019, Septiembre 29). Contrafort. Grupo de Investigación de Estructuras de Madera. Available: <http://www.contrafort.cat/bioconstruccio/apuntes-calculos-adera.pdf>

[2] B. Borrás, X. (2010, Octubre 20). Breve historia de la madera como material de construcción. Interempresasnet. Available: <https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-de-construccion.html>

[3] S. Carangui and V. Lasso, "Estudio de los sistemas constructivos tradicionales en madera", Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Azuay, Ecuador, 2010.

[4] J. Escalona, M. Hernández and C. Requena, C. (2017, Enero 1). Método de empleo del bambú como material alternativo para la construcción de viviendas de interés social en el Municipio Campo Elías Sector Santa Eduvigés. ISSUU. Available: https://issuu.com/cristalmichellerequena/rodriguez/docs/tesis_del_bambu....docx

[5] J. García. (2017, Octubre 17) ¿Sabías que la madera deja una huella de carbono menor que otros materiales? Maderas García Varona. Available: <https://maderasgarciavarona.wordpress.com/2017/10/18/sabias-que-la-madera-deja-una-huella-de-carbono-menor-que-otros-materiales/>

[6] D. González, D. (2005). Desarrollo sustentable y medioambiente construido. Cujae. Available: www.cepis.ops-oms.org/arquitectura/clase16/

[7] M. P. Jara and J.R. Marcus, "Comparación de la huella de carbono en la construcción de edificaciones de hormigón armado y madera sólida contralamina", *Tesis de Pregrado, Universidad del Bío Bío*, Concepción, Chile, 2015.

[8] J. Galván, "En madera otra forma de construir. El material constructivo sostenible del siglo XXI" Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, España, 2018.

[9] M. J. Matute, "Tecnología sostenible y eficiencia energética aplicada al diseño de una vivienda", Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Azuay, Ecuador, 2014.

[10] L. Morillas, "En madera otra forma de construir. El material constructivo sostenible del siglo XXI" Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, España, 2018.

[11] NOEM. (2019). La huella de CO2 de una casa. NOEM. Available: <http://www.noem.com/la-huella-de-co2-de-una-casa-noem/>

[12] J. M. Pascual, "El bambú, una alternativa sostenible en la solución de la vivienda social", *Ciencia en su PC*, vol. 1, pp. 89-99, 2008.

[13] B. Porcel. (2018). Berbel Porcel. Protección pasiva contra incendios. Available: <https://www.berbelporcel.com/ignifugar-reventamientos-estructuras-madera/>

[14] R. V. Puig. (2018). Ignifugación de la madera. Available: https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_86_16_072.pdf

[15] J. C. Rodríguez, "El bambú como material de construcción", *Conciencia Tecnológica*, vol. 31, pp. 67-69, 2006.

[16] O. Santaclara, E. Merlo and C. Gazulla, "Huella de carbono y EPD: Oportunidad para el sector de la madera", *Lavola Cosostenibilidad*, España, Noviembre, 2015.

[17] The Canadian Wood Council, *Energy and the Environment in Residential Construction*. (2014).

[18] M. Vargas. (2018). Construcción sostenible: Casas de madera. Sostenibilidad para todos. Available: <https://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/construccion-sostenible-casas-de-madera/>

[19] G. Wandel, "La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España, 2009.

[20] R. F. Zepeda, "Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades". *Tecnología en marcha*, vol. 21, pp. 92-101, 2008.



Pedro Fernando Guerrero. - Nació en Cuenca, Ecuador en 1987. Recibió su título de Ingeniero en Producción y Operaciones de la Universidad del Azuay en 2011; Master en Salud Ocupacional y Seguridad en el trabajo en la Universidad del Azuay, Cuenca 2017.



José Sánchez Pinos. - Nació 5 en Cuenca, Ecuador en 1985. Recibió su título de Ingeniero Industrial de la Universidad de Cuenca en 2009; Master en Docencia de las matemáticas, en la Universidad de Cuenca, Cuenca 2016.