

Índice de sustentabilidad a partir de un análisis comparativo simplificado de materiales para la construcción sustentable: la madera laminada y otros elementos estructurales similares en México.

Sustainability index for a simplified comparative analysis of laminated timber and other similar elements for sustainable construction in México.

Mariana López Tenorio, Arq.

Estudiante de Maestría de Diseño e Innovación, Facultad de Ingeniería.

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

mlopez506@alumnos.uaq.mx

Código ORCID: 0000-0002-8718-2091

Avatar Flores Gutiérrez, Ph. D.

Coordinador del Doctorado en Innovación, Tecnología y Hábitat, y la Maestría en Arquitectura, Facultad de Ingeniería

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

avatar.flores@uaq.mx

Código ORCID: 0000-0001-9581-3853

Carlos Cobreros Rodríguez, Ph. D.

Profesor Investigador en Escuela de Arquitectura, Arte y Diseño.

Tecnológico de Monterrey, Querétaro, México.

ccobreros@tec.mx

Código ORCID: 0000-0002-0696-7883

Fecha de recepción: 27 de julio, 2022 / Fecha de aprobación: 15 de enero, 2023 <https://doi.org/10.15517/mym.v12i0.51967>

Índices y Bases de Datos:



Políticas de Uso:



Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. ISSN electrónico: 2215-4558

Índice de sustentabilidad a partir de un análisis comparativo simplificado de materiales para la construcción sustentable: la madera laminada y otros elementos estructurales similares en México.

Sustainability index for a simplified comparative analysis of laminated timber and other similar elements for sustainable construction in México.

Mariana López Tenorio, Arq.

Estudiante de Maestría de Diseño e Innovación, Facultad de Ingeniería.
Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
mlopez506@alumnos.uaq.mx
Código ORCID: 0000-0002-8718-2091

Avatar Flores Gutiérrez, Ph. D.

Coordinador del Doctorado en Innovación, Tecnología y Hábitat, y la Maestría en Arquitectura, Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
avatar.flores@uaq.mx
Código ORCID: 0000-0001-9581-3853

Carlos Cobreros Rodríguez, Ph. D.

Profesor Investigador en Escuela de Arquitectura, Arte y Diseño.
Tecnológico de Monterrey, Querétaro, México.
ccobreros@tec.mx
Código ORCID: 0000-0002-0696-7883

Fecha de recepción: 27 de julio, 2022 / **Fecha de aprobación:** 15 de enero, 2023 <https://doi.org/10.15517/mym.v12i0.51967>

RESUMEN

En este proyecto se presenta la viabilidad de las vigas de madera laminada como una opción de construcción sustentable en comparación con materiales tradicionales. Para ello, se desarrolló un índice de evaluación, en el cuál, se toma en cuenta la información de contenido, distancia, proceso, modulación y mantenimiento de cada material; dando un resultado de índice simplificado y preliminar de sustentabilidad de los materiales para la toma de decisiones en proyectos. Además de la viga laminada, se evaluó la viga de madera maciza, la viga de concreto y viga de acero; confirmando que la madera es un material más amigable con el ambiente, ya sea presentada como viga de madera maciza o laminada.

Palabras clave: Construcción sustentable, madera, madera laminada, vigas estructurales, evaluación de sustentabilidad, índice de sustentabilidad.

ABSTRACT

In this project, the feasibility of laminated wood beams as a sustainable construction option in comparison to traditional materials is presented. To do this, an evaluation index was developed, which takes into account the information of content, distance, process, modulation and maintenance of each material; providing a simplified and preliminary result of the sustainability of the materials for decision making in projects. Additionally the laminated beam, solid wood beam, concrete beam and steel beam were evaluated. Confirming that wood is a more environmentally friendly material, whether presented as a solid wood beam or laminated beam.

Keywords: Sustainable construction, wood, laminated timber, structural beams, sustainable assessment, sustainability index.

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura y la construcción contribuyen a solucionar problemas como la vivienda, el hábitat y el patrimonio construido. Además, son actividades que participan en el desarrollo económico y social de un país; sin embargo, generan un impacto en el medio ambiente durante el ciclo de vida de la edificación, desde la extracción de recursos hasta los desechos generados y su vertido al medio ambiente (Acosta, 2009).

La prioridad de los desarrolladores y contratistas al momento de construir es la economía y terminar en tiempo, por ello, para la toma de decisiones de un proyecto se toman en cuenta materiales que cumplan con estas condiciones, y en algunas ocasiones cuando se requiere de diseños sustentables, se analizan los impactos que se generan durante todo el ciclo de vida del edificio (Enshassi et al., 2014; Hernández, 2016).

Sin embargo, analizar estos impactos a través de un análisis del ciclo de vida de los materiales puede ser una metodología compleja si hay falta de conocimiento para su aplicación (Zabalza et al., 2019).

1.1. Sustentabilidad en la construcción

La construcción sustentable es definida desde 1994 en la Conferencia Internacional sobre Construcción Sustentable como “la creación y planificación responsable de un ambiente construido saludable basado en la optimización de los recursos naturales disponibles y principios ecológicos” (Gervásio, 2014).

Para lograrlo existen métodos, certificaciones y estrategias que logran los productos sustentables; una manera de comenzar a incorporar principios de diseño sustentable, es con una selección adecuada de los materiales que se pueden usar en los proyectos arquitectónicos (Hernández, 2016, Akadiri et al., 2012).

Los materiales se llaman sustentables cuando evitan la contaminación del medio ambiente durante su ciclo de vida (Hernández, 2016), como se muestra en la Figura 1.

Es importante entender que los materiales sustentables van “desde el verde claro al verde oscuro” (Borsani, 2011), por lo que, para seleccionar materiales hoy en día es muy importante tomar en consideración los impactos ambientales desde la extracción de la materia prima hasta la ocupación, mantenimiento y remodelación en el inmueble, incluyendo las condiciones que genera de confort y habitabilidad (Hernández, 2016).

En este sentido, una alternativa como material de construcción sustentable, especialmente frente a las estructuras de concreto y acero, es la madera, ya que ayuda a reducir el impacto ambiental, principalmente a través del “carbón secuestrado” que utiliza en su proceso (Franco, 2019).

1.2. Madera como material de construcción

Desde la antigüedad, la madera ha sido uno de los principales recursos naturales que han funcionado para el ser humano. Actualmente, este material ha sido impulsado de varias formas gracias al avance tecnológico de distintas industrias madereras, desarrollándose diferentes sistemas constructivos (Álvarez & Pedroso, 2018).

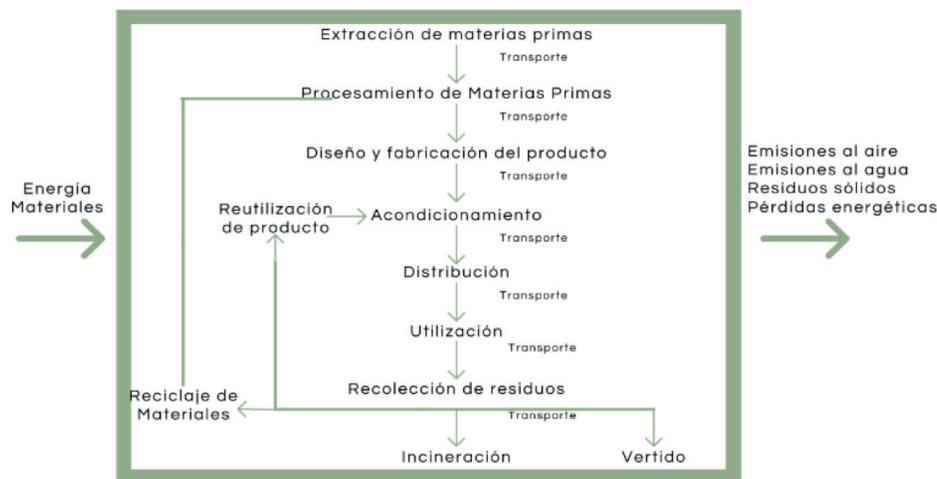


Figura 1. Ciclo de vida de los materiales (Borsani, 2011).

La producción y el procesamiento de la madera utiliza menos energía que otros materiales, además ayuda a reducir la cantidad de dióxido de carbono; esta producción tiene una gestión muy regulada a través de empresas forestales y diversas instituciones que ayudan a la certificación de la madera para garantizar la transparencia del origen sostenible (Comisión Nacional Forestal, 2017).

Algunas de las propiedades que hacen a la madera favorable para la construcción son: que es un material ligero y poroso lo que permite un buen aislamiento térmico, eléctrico y acústico, siendo adecuado para el confort; de acuerdo a la temperatura, su calor es cuatro veces mayor que en el cobre y 50% más que en el aire, y en combinación del calor con su densidad, hace que sea un material resistente a la acción del fuego (Fritz, 2004).

Las otras ventajas de la construcción con madera se pueden clasificar en dos aspectos: el constructivo, por su baja densidad se facilita el transporte a bajo costo, la alta resistencia a movimientos sísmicos, la capacidad de aislamiento térmico y acústico, la calidez del diseño arquitectónico ya que se puede generar texturas; y el aspecto de costos, se reduce en un 15 % a un 20% a comparación de otros sistemas tradicionales, y la reducción de costos indirectos por la rapidez que el sistema constructivo con madera permite (Comisión Nacional Forestal, 2015).

La madera comercial para la construcción se puede clasificar en cuatro tipos de acuerdo con Fritz (2004): Madera aserrada y cepillada, molduras de madera, maderas reconstituidas y maderas de ingeniería.

Para dar una solución ideal a la vivienda sustentable en México, hay que pensar en los cambios que consideren nuevas tecnologías para construir con madera. Los productos de madera de ingeniería encolada son los últimos desarrollados con mayor potencial gracias a las nuevas tecnologías (Comisión Nacional Forestal, 2015, APA-The Engineered Wood Association, 2015).

Estos productos proporcionan una resistencia superior a la madera aserrada, maximizando el recurso forestal ya que se fabrican con menos fibra y disponibles en longitudes más largas; brindando una gran flexibilidad de diseño. Los productos de madera de ingeniería incluyen: vigas en I, madera laminada encolada, madera contrachapada, tablero de fibra orientada, entre otros (CMHC, 2013).

1.2.1. Madera Laminada.

La madera laminada, también llamada Glulam por su abreviación en inglés “glued laminated” (Canadian Wood Council, 2021), como parte de los productos de madera estructural de ingeniería, consiste en unir múltiples láminas de madera, con las fibras en una misma dirección. El resultado hace que sean piezas más resistentes y estables que la madera maciza, ayudando a obtener una mayor versatilidad en el diseño al permitir salvar grandes luces, hasta los 30 metros de longitud (Canadian Wood Council, 2021).

Está compuesta de elementos de madera de un mismo grado acomodados en forma horizontal unidas mediante el sistema de ensamblajes dentados y con ayuda de un adhesivo estructural para uso en exteriores, a cada pieza se le aplica suficiente presión para asegurar un buen encolado (Canadian Wood Council, 2021). El diseño de esta tecnología se desarrolló en la década de los setentas, usando inicialmente clavos, pasando por los adhesivos, y actualmente se está trabajando en investigaciones para la fabricación de productos de madera libres de adhesivos (Sotayo, et. al., 2019).

Una de las alternativas propuestas de sustitución a los adhesivos, son las vigas laminadas unidas por medio de taquetes de madera, ya que generan mejor calidad de aire al interior y se usa menor energía incorporada en el proceso; sin embargo, aún se requiere mayor investigación de la evaluación de las resistencias por los cambios dimensionales que sufren los taquetes a causa de la humedad y variaciones de temperatura (Sotayo, et. al., 2019).

Es el único producto entre los de madera de ingeniería, que puede ser producido en formas curvas y con una gran gama de características de apariencia de acuerdo con los requerimientos de uso (APA-The Engineered Wood Association, 2015). Entre las principales ventajas del uso de vigas laminadas son la limpieza en la construcción, ya que no se requiere de otras mezclas, líquidos u otros materiales que se deban remover posteriormente; y la instalación, por el fácil manejo, así como su sencilla y rápida conexión (Elorza, 2018).

1.3. Evaluación de sustentabilidad

La rápida aceptación del concepto de sostenibilidad en la edificación y su entorno es acompañada de un aumento en el número de metodologías de evaluación alrededor del mundo que se han actualizado para ser más exigentes (Díaz, et al., 2018). Estas metodologías de evaluación pueden ser por medio de certificaciones o metodologías para el proceso constructivo.

Entre las principales y con aplicación en México se encuentran: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), Leadership in Energy & Environmental Design (LEED) que es la predominante en nuestro país, True Zero Waste, WELL, entre otros. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM 2011), bajo esta premisa de evaluación a la sustentabilidad, en sus “Lineamientos en materia de construcción sustentable” para las nuevas edificaciones o remodelaciones propias de esta Institución, nos indica que “no existe en nuestro país suficiente información para hacer una evaluación completa e integral de los materiales potenciales para formar parte de un edificio”.

Por lo que es pertinente, analizar la relación entre la sustentabilidad de la construcción con la toma de decisiones de los materiales, ya que en México no hay una cultura de evaluación de sustentabilidad y seguimos usando materiales como acero, concreto, y madera en algunas ocasiones.

En este trabajo se propone el uso de la viga laminada como alternativa sustentable y nueva en el país, por sus propiedades y ventajas, a través de un índice de sustentabilidad para los materiales de construcción desarrollado, que mostrará el nivel de sustentabilidad de forma preliminar y simplificada, comparando la viga laminada con tres tipos de elementos similares usados comúnmente para la construcción.

2. METODOLOGÍA

En este proyecto se presenta el análisis comparativo en términos de nivel de sustentabilidad de las vigas de madera laminada como alternativa novedosa de construcción amigable para el medio ambiente con materiales tradicionales, a través de un índice simplificado y preliminar de sustentabilidad desarrollado como un instrumento de evaluación rápida y simplificada de los materiales potenciales a usarse en la construcción.

Para llevar a cabo esta comparativa, se siguió una serie de pasos como se muestra en la Figura 2, donde primero se desarrolló el índice para asignar un nivel de sustentabilidad a los materiales de construcción, seguido de la identificación de los componentes de la viga laminada y los materiales que forman algunos de los sistemas más usados comúnmente en México, para finalmente realizar el análisis de cada uno de acuerdo con el índice y compararlos para obtener las conclusiones.

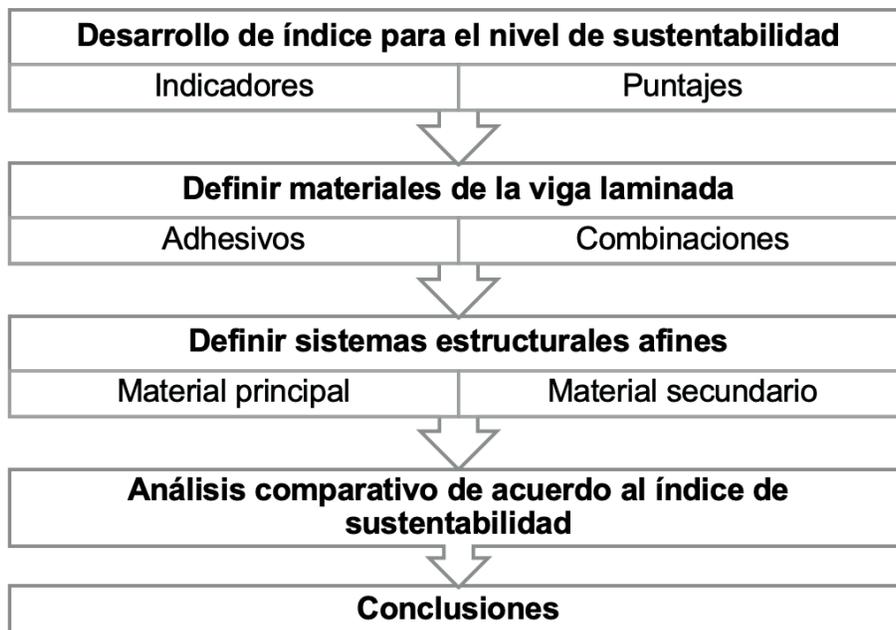


Figura 2. Diagrama de metodología

2.1. Índice de sustentabilidad

De acuerdo con los criterios que debe contener un material sustentable, se realizó la Tabla 1, que muestra los indicadores del índice propuesto y el puntaje que se le asigna a cada indicador. El puntaje de cada indicador va de acuerdo con las opciones. Al finalizar se obtiene un puntaje total del índice, el máximo son 11 puntos, este puntaje se convirtió en escala de 1 a 5, para visualizar fácilmente los resultados, si se obtiene menos de 0.5 puntos significa 1 que

es lo menos sustentable y el máximo de puntos significa 5 siendo lo más sustentable; de esta forma se obtiene un resultado preliminar del nivel de sustentabilidad que maneja el material analizado.

Para el desarrollo de los indicadores, se tomaron en cuenta las características de materiales sustentables encontradas en bibliografía, en distintas certificaciones de edificación que entre sus requerimientos toman en cuenta características de materiales y en la Norma Mexicana de Edificación Sustentable NMX-AA-164-SCFI-2013.

Tabla 1 Índice de sustentabilidad para materiales

INDICADOR	CARACTERÍSTICAS	OPCIONES	PUNTAJE
Contenido reciclado	Si cuenta con ingredientes reciclados.	Si	1,0
		No	0,0
Contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV)	Las emisiones que desprenden los materiales, causando problemas al respirar, irritación en ojos o alergias.	Nulo/Bajo	1,0
		Alto	0,0
		No hay información	0,0
Toxicidad	Cantidad de ingredientes tóxicos y el grado de daños que puede provocar	Nula	1,0
		Baja	0,5
		Alta	0,0
Distancia del producto	Desde donde proviene el material, para disminuir energía por transporte de acuerdo a certificaciones de edificaciones.	hasta 500km del sitio	1,0
		hasta 1000km del sitio	0,5
		hasta 5000 km del sitio	0,0
Reciclabilidad, reusabilidad	Nivel de reciclabilidad o reusabilidad que tiene el material.	Total	1,0
		Parcial	0,5
		Nulo	0,0
Prácticas actuales	Se evalúa si el material es comúnmente reciclado o reutilizado en las prácticas diarias.	Si	1,0
		Algunas ocasiones	0,5
		No	0,0
Certificaciones de procesos	Certificaciones o normas que avalan que el proceso del material fue adecuado.	Si	1,0
		No hay información	0,0
		No	0,0
Embalaje	Lo que envuelve al producto tiene contenido reciclable y/o pueda ser reciclado o reutilizado.	Si	1,0
		No hay información	0,0
		No	0,0
Especificaciones en fichas o HDS	Las hojas de datos de seguridad y/o fichas técnicas del material cuentan con toda la información posible para avalar la transparencia de información.	Total	1,0
<i>Energía incorporada</i>		Si/no	0,2
<i>Fuente de extracción</i>		Si/no	0,2
<i>Vida útil</i>		Si/no	0,2
<i>Ingredientes</i>		Si/no	0,2
<i>CO2 generado</i>		Si/no	0,2
Se puede modular	Si el material es apto para ser modulado, y así lograr reducir desperdicios.	Si	1,0
		No	0,0
Mantenimiento	Nivel de aseo, reparaciones menores o reposición de elementos por desgaste que debiera tener.	Bajo	1,0
		Medio	0,5
		Alto	0,0
PUNTAJE DEL ÍNDICE TOTAL EXPRESADO DEL 1 AL 5.			5,0

2.2. Sistemas estructurales

Los materiales más utilizados estructuralmente para la construcción en México son el acero, el concreto y la madera, teniendo cada uno ventajas y desventajas (Carigliano, 2021). Por lo que se seleccionaron para ser los tres sistemas para evaluar como materiales afines a la madera laminada (Plaza, 2016).

Se identificó las partes de cada tipo de sistema para que puedan ser analizadas: material primario y materiales secundarios como se muestra en la Tabla 2. Estos elementos se colocaron de tal que se lograra una evaluación rápida y simplificada.

Para definir la viga laminada que se evaluará, fue necesario identificar los tipos de adhesivos más comunes en los encolados, de acuerdo con las propiedades que cada uno puede ofrecer. También se contempló la alternativa sin adhesivos mencionada al inicio para escoger así la más conveniente sustentablemente.

Se realizó el análisis del nivel de sustentabilidad a través del índice desarrollado con cada una de las vigas, definiendo primero la viga laminada con la que se va a trabajar, evaluando dos opciones, una con adhesivos y la otra con taquetes. Evaluando cada adhesivo por separado para encontrar el más adecuado y después realizando un promedio con las combinaciones como se muestran en la Figura 3.

El principal adhesivo que se usa para encolados es el adhesivo de urea formaldehído, siendo más económico y cuya principal característica es que una vez moldeada se endurece (Elorza, 2018), sin embargo, el ingrediente de formaldehído está clasificado en la Lista Roja del LBC (Living Building Challenge) como un compuesto orgánico volátil cancerígeno que logra dar afectaciones a la salud desde pequeñas emisiones (International Well Building Institute, 2020), por lo que este adhesivo no fue tomado en cuenta para la evaluación. Los adhesivos a considerar entonces fueron las resinas epoxy, los adhesivos de poliuretano y el pegamento blanco.

Tabla 2. Sistemas estructurales a evaluar

Sistema	Material principal	Materiales secundarios	Materiales secundarios
-	-	Uniones	Complemento
Vigas Laminadas	Madera	Madera	Adhesivos
			Taquetes
Vigas de madera maciza	Madera	Madera	-
Vigas de concreto	Cemento	Acero de refuerzo	Cimbra
Vigas de acero	Acero	Acero	-



Figura 3. Combinaciones de fabricación de la viga laminada

Las resinas epóxicas tienen buena resistencia al calor y la humedad y durante su fraguado no se producen compuestos volátiles ni hay pérdida de volumen. Los adhesivos de poliuretano sin solvente, muestran igualmente una gran resistencia al calor y a la humedad (AITIM, 2012). Y el pegamento blanco, que cura de forma transparente lo hace un elemento muy discreto, no necesita diluirse ni mezclarse y no contiene emisiones de formaldehído, este adhesivo se elabora a base de resina vinílica soluble en agua, y es uno de los más usados para encolar por su relación calidad precio, a pesar de no ser resistente al agua (Resin Expert, 2021; Maderame, 2020).

Para la elaboración del análisis del nivel de sustentabilidad de las vigas de madera maciza, se definieron las uniones igualmente con la madera, por lo que el único material que se evaluó fue la madera aserrada.

El siguiente material para evaluar fue el acero, donde la sustentabilidad normalmente está asociada a su reciclaje, sin embargo, sigue siendo conocido como uno de los materiales más contaminantes por las emisiones que generan durante su proceso de fabricación y transporte (Gervásio, 2014).

Y finalmente, se evaluó la viga de concreto, siendo de los materiales más comunes en el mundo, tiene también un gran impacto ambiental generando aproximadamente el 5% de las emisiones mundiales de CO₂ (Greenspec, 2021). Para su análisis, se dividió en tres partes principales: el concreto en sí, el acero de refuerzo y la cimbra (formaleta), que es toda la madera necesaria para encajonar y elaborar éstas. Generando un promedio al final de sus componentes para poder realizar la comparativa final con las otras vigas.

Para llenar la información de los indicadores, se estableció la ciudad de Querétaro, en el bajío de la República Mexicana, como el sitio desde donde se requirieron los materiales, y de esta forma encontrar los proveedores más cercanos posibles.

3. RESULTADOS

A. Vigas laminadas

Se desarrolló el índice de sustentabilidad primero con la madera aserrada, obteniendo un nivel de sustentabilidad de 4.20 como se muestra en la Figura 4.

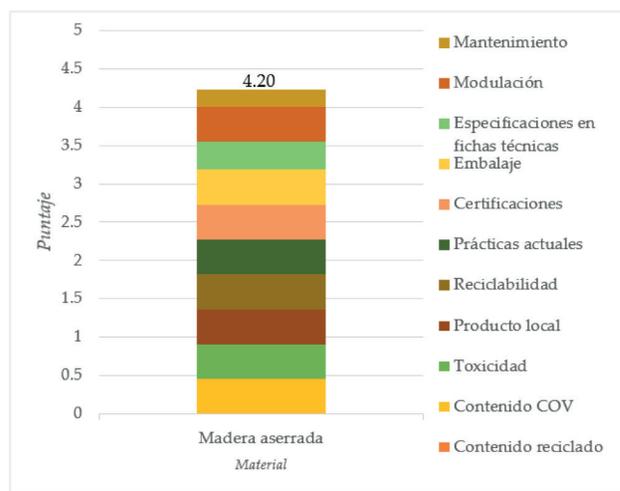


Figura 4. Nivel de sustentabilidad de la madera aserrada

Posteriormente se realizaron los índices para el adhesivo de poliuretano, el pegamento blanco, el adhesivo epóxico y los taquetes como propuesta para una viga laminada sin adhesivo.

Todos los adhesivos provienen de una formulación química, lo que disminuye mucho el nivel de sustentabilidad, al igual que contar con ciertos ingredientes que pueden causar toxicidad, tal es el caso de las resinas epóxicas. El pegamento blanco, si bien es el que mejor puntaje obtuvo entre los adhesivos, como se identifica en la Figura 5, continúa siendo un material con un nivel de sustentabilidad muy bajo por sus propiedades químicas, por lo que se confirma que los taquetes de madera son la opción más sustentable para trabajar las vigas laminadas.

Con el nivel de sustentabilidad de los adhesivos y taquetes, se procedió a realizar las combinaciones correspondientes de la madera aserrada con los adhesivos y taquetes, obteniendo el nivel de sustentabilidad total de cada tipo de viga laminada (Figura 6). Teniendo como resultado que usando los taquetes se obtiene una mejor respuesta sustentable, con un valor de 3.80 de 5.

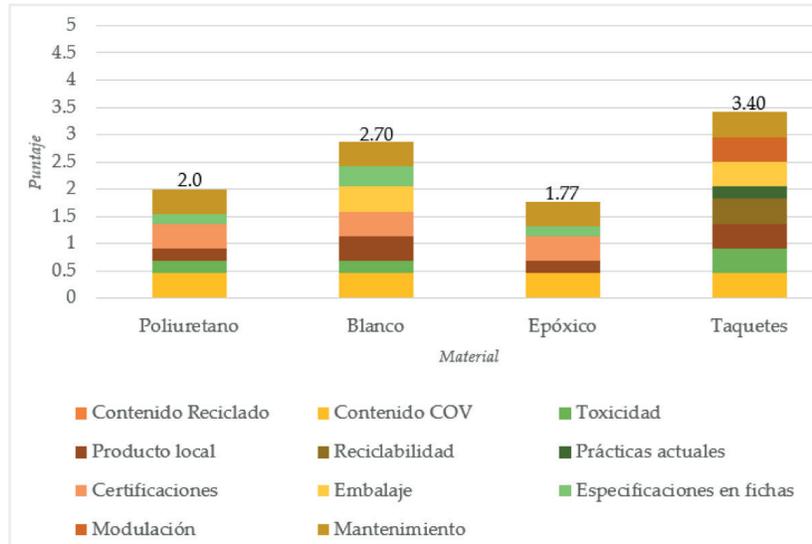


Figura 5 Nivel de sustentabilidad de adhesivos y taquetes

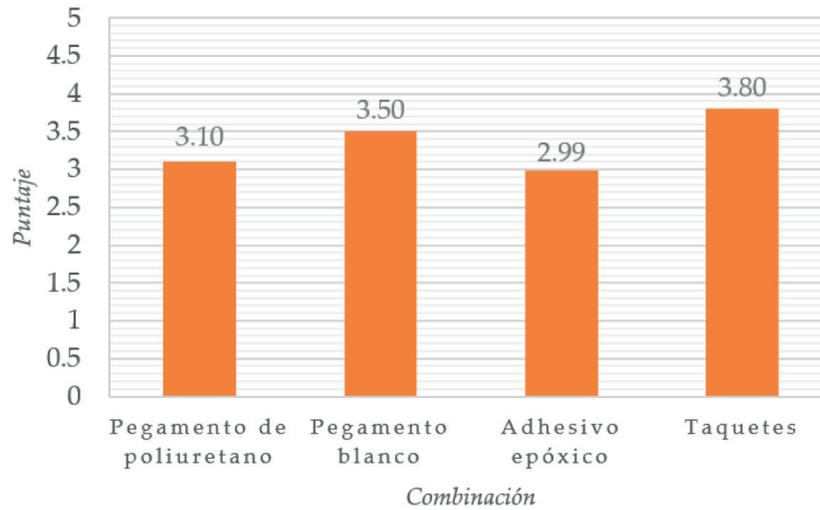


Figura 6. Nivel de sustentabilidad de las combinaciones de vigas laminadas

Sin embargo, no se ha empleado comúnmente la configuración de vigas laminadas con taquetes y es necesario realizar más evaluaciones sobre la resistencia que se puede lograr al usar taquetes (Sotayo, et. al., 2019); dicho esto, se seleccionó también para realizar la comparativa, la viga laminada con el adhesivo blanco que dio un resultado de nivel de sustentabilidad total de 3.5 sobre 5, cuatro décimas más que la combinación con el poliuretano y seis décimas más que la combinación con el adhesivo epóxico.

B. Vigas de madera maciza

Con la misma información de la madera empleada para la viga laminada, se llenó el índice de la madera aserrada que se muestra en la Figura 7, obteniendo un nivel de sustentabilidad de 4.20 sobre 5. Comprobando las cualidades amigables con el ambiente que se tiene en la madera.

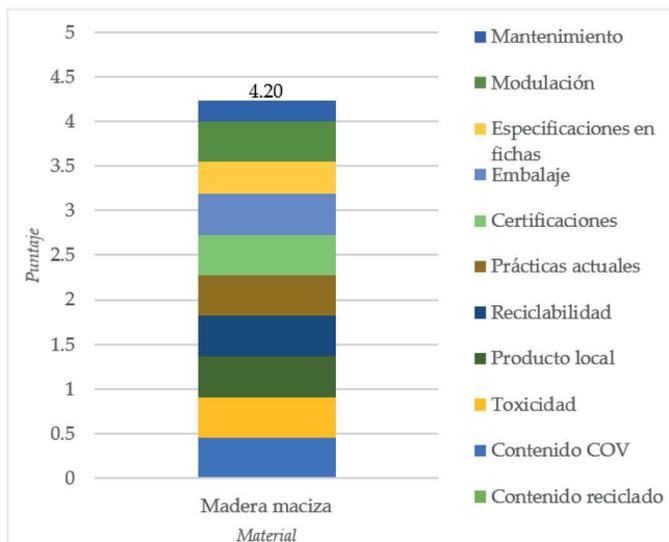


Figura 7. Nivel de sustentabilidad de la madera maciza

C. Vigas de acero

Evaluando sólo el acero como único material para este tipo de vigas, se obtuvo un nivel de sustentabilidad de 2.91 sobre 5, como se muestra en la Figura 8.

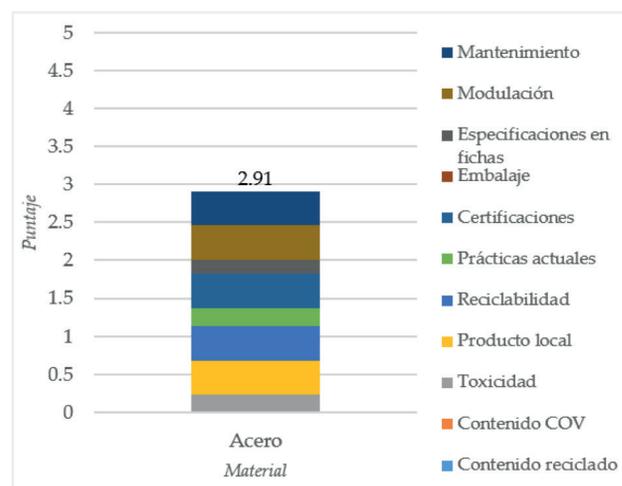


Figura 8. Nivel de sustentabilidad del acero

D. Vigas de concreto

El desarrollo de la viga de concreto, se realizó en tres partes como se muestra en la Figura 9: el concreto, los materiales que lo integran y el proceso, incluyendo sus desperdicios durante su elaboración y uso, lo que da como resultado un nivel de sustentabilidad de 1.8. El acero de refuerzo, donde se rescata un poco del acero que logra ser recolectado como residuo para su reciclaje, generó un nivel de sustentabilidad de 3. La última parte para complementar la viga de concreto, fue la cimbra (formaleta), teniendo como ventaja su reutilización continua, dando un resultado un nivel de sustentabilidad de 4.2.

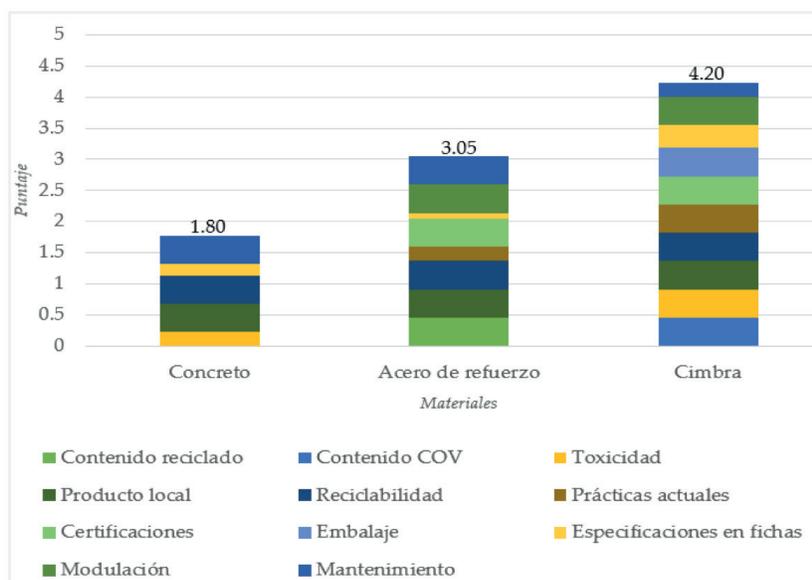


Figura 9 Nivel de sustentabilidad del concreto con acero de refuerzo y cimbra

Obteniendo el promedio de los tres componentes, se definió un nivel de sustentabilidad total de la viga de concreto de 3 sobre 5, colocándolo solo un poco por encima de la viga de acero.

3.1. Comparación de resultados

Finalmente se obtuvo el puntaje para cada tipo de viga, los cuales se muestran en la Figura 10. Se observa que la viga de madera maciza es la más sustentable con 4.20 sobre 5. Se logró definir que la viga laminada que puede ser más sustentable es la viga con los taquetes de madera con un resultado de 3.80 sobre 5.

Siendo las vigas laminadas una propuesta mucho más amigable al ambiente que las vigas de acero o de concreto por los materiales empleados, la baja toxicidad y menores emisiones que se requieren en su fabricación y colocación.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las vigas de madera suelen ser consideradas la opción más amigable con el medio ambiente, y de acuerdo con la evaluación simplificada realizada, se confirma que es la opción más sustentable; pero, en comparación con las vigas laminadas, vigas de acero y vigas de concreto, tienen una vida útil menor y requieren un mayor mantenimiento.

Las vigas consideradas como menos sustentables son las vigas de acero y de concreto, principalmente por el

proceso de producción, el alto consumo de energía y las emisiones que generan; sin embargo, las vigas de acero pueden ser recicladas y reutilizadas, lo cual ayuda a reducir su impacto ambiental.

Las vigas laminadas con taquetes resultaron la mejor alternativa entre las diferentes combinaciones de vigas laminadas, pero las vigas laminadas con adhesivos resultan ser más resistentes a la humedad y a la deformación. Ambas opciones permiten un menor desperdicio y mejor uso de recursos renovables y biodegradables como es la madera. Se recomendaría siempre realizar una evaluación técnica completa para determinar el uso de las vigas laminadas de acuerdo con cada proyecto específico, ya que como se mencionó anteriormente, aún se requiere evaluaciones de las resistencias de los taquetes de acuerdo a las variaciones de temperatura y humedad. Principalmente en México donde es poco el trabajo que se ha realizado con este tipo de material.

El índice de sustentabilidad propuesto en esta investigación, busca generar una evaluación preliminar y propone un acercamiento a un análisis de impacto ambiental y a los usuarios a una mejor toma de decisiones, pensando también en que es mejor consumir localmente. Sin embargo, aún se encuentran algunas limitantes para realizar una evaluación completa e integral de los materiales, ya que la propia información que proporcionan las fichas técnicas y hojas de datos de seguridad, que es de donde principalmente se puede obtener la información de cada material, no termina

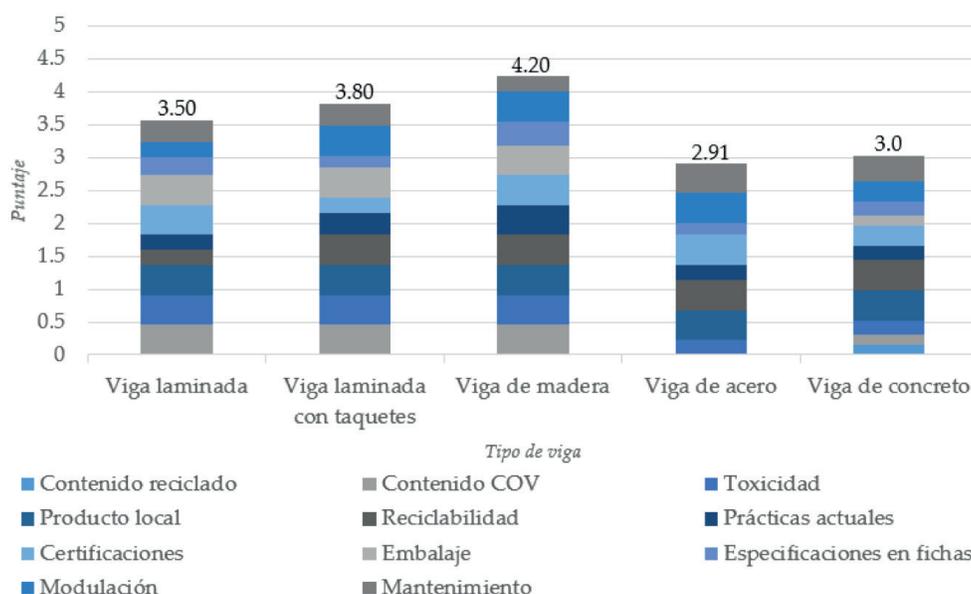


Figura 10. Comparación de las vigas

de ser lo suficientemente homogénea entre cada tipo de material. Es entonces necesario que en México se regule la información que proporcionan los proveedores, así como las normas sustentables, para que dejen de ser de aplicación voluntaria.

Para construir de manera sustentable se requiere pensar en la eficiencia energética, en materiales, en la ubicación, en el uso, en los residuos, entre otras variables y para ello es importante tomar decisiones informadas. Se propone como continuación de esta investigación, profundizar en los materiales que conforman cada viga o elemento constructivo para llegar a un nivel de sustentabilidad más completo, incluyendo el análisis de la energía requerida para cada uno; así como la comparativa de la evaluación técnica y de costos de la madera maciza y la laminada, complementándose de otros análisis y metodologías, para lograr mayores referencias en México.

5. REFERENCIAS

- Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias. *Dearq*, (4), 14-23.
- AITIM. (2012). *Uniones encoladas- Adhesivos estructurales*. CSCAE. https://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/Produc_estruct/Uniones%20encoladas_Adhesivos%20estructurales_15.06.2015.pdf
- Akadiri, P., Olomolaiye, P., & Ezekiel, C. (2012). Multi-Criteria evaluation model for the selection of sustainable materials for building projects. *Automation in construction - Elsevier*, Volumen 30, pág 113-125.
- Álvarez, N., & Pedroso, M. (2018). Análisis comparativo de las propiedades de la madera laminada y madera maciza utilizadas en las cubiertas de la parada de ómnibus: Parcela 19. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. Vol 12, N° 2, pág 4.
- APA-The Engineered Wood Association. (2015). *Una guía a los productos de madera de ingeniería*. <https://www.apawood.org/Data/Sites/1/documents/americalatina/ex-c800-la.pdf>.
- Borsani, M.S. (2011). Estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles [Tesis de maestría]. In *Universidad Politécnica de Cataluña*. España.
- Canadian Wood Council. (2021). *Glulam - Glued-Laminated Timber*. The Canadian Wood Council. <https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/mass-timber/glulam/>
- Carigliano, S. (2021, November 11). *Acero vs Madera vs Concreto | Ingeniería SkyCiv*. SkyCiv. <https://skyciv.com/es/technical/steel-vs-timber-vs-concrete/>
- CMHC. (2013). *CANADIAN WOOD-FRAME HOUSE CONSTRUCTION*. CHBA-nl. <https://chbanl.ca/wp-content/uploads/CMHC-Canadian-Wood-Frame-House-Construction.pdf>
- Comisión Nacional Forestal. (2015). *Manual de autoconstrucción de vivienda con madera*. Gobierno de México. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/22/4826Autoconstruccion%20de%20vivienda%20con%20madera.pdf>
- Comisión Nacional Forestal. (2017). *Catálogo de productos forestales certificados* (1ra ed.). Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/213032/Catalogo_de_Productos_Forestales_Certificados.pdf
- Díaz, C., Carpio, M., & Zamorano, M. (2018). Catálogo de metodologías para la evaluación de edificación sostenible. *Greencities & Sostenibilidad*. ISBN: 978-84-09-01166-7.
- Elorza, M. (2018, January 18). Vigas laminadas y la construcción ligera con madera. <http://www.hfmexico.mx/MEMInteriores/wp-content/uploads/2018/03/3.-VIGAS-LAMINADAS-Y-LA-CONSTRUCCION-LIGERA-CON-MADERA.pdf>
- Enshassi, A., Kochendoerfer, b., & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Ingeniería de Construcción*. Vol 29, N°3, pág 234.
- Franco, J. T. (2019, August 14). ¿Es la madera laminada cruzada (CLT) el hormigón del futuro? ArchDaily. Retrieved Oct 11, 2021, from <https://www.archdaily.mx/mx/921337/es-la-madera-laminada-cruzada-clt-el-hormigon-del-futuro>
- Fritz, A. (2004). *La Construcción de Viviendas en Madera*. Corma: Chile.
- Gervásio, H. (2014). La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas. *Instituto Chileno del Acero*. <https://icha.cl/wp-content/uploads/2014/12/LA-Sustentabilidad-del-Acero-y-Las-Estructuras-Met%20Allicas.pdf>
- Greenspec. (2021). *The Environmental Impacts of Concrete*. GreenSpec. <https://www.greenspec.co.uk/building-design/environmental-impacts-of-concrete/>
- Hernández, S. (2016). *Selección y diseño sustentable de materiales de construcción* (1° ed.). Trillas.
- International Well Building Institute. (2020). *Materials Features. WELL certified*. WELL. <https://v2.wellcertified.com/en/v/materials>
- Maderame. (2020). *Construcción en Madera: Técnicas, Ventajas y Desventajas*. Maderame. <https://maderame.com/construcciones-madera/>

- Plaza, S. (2016). *Decisiones en construcción con madera/acero/hormigón*. Maderea. <https://www.maderea.es/decisiones-a-tener-en-cuenta-en-la-construccion-con-maderaacerohormigon/>
- Resin Expert. (2021, February 5). *Best Wood Glue - A Guide on the Best and Strongest Wood Glue*. Resin Expert. <https://resin-expert.com/en/guide/best-wood-glue>
- Sotayo, A., & et. al. (2019). Review of state of the art of dowel laminated timber members and densified wood materials as sustainable engineered wood products for construction and ts for construction and builing applications. *Developments in the built Environment*, (1).
- UNAM. (2011). *Lineamientos en materia de construcción sustentable*. ECOPUMA. https://ecopuma.unam.mx/PDF/SECCIONES/CONSTRUCCIONSUSTENTABLE/Criterios_construccion_sustentable.pdf
- Zabalza, I., Díaz de Garayo, S., Aranda, A., & Scarpellini, S. (2019). Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida. *Ecohabitar*.