UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE ARQUITECTURA

La madera como alternativa para reducir las emisiones de CO2 durante la construcción de edificaciones en altura en Chiclayo

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

ARQUITECTO

AUTOR

Dilmer Gonzales Curinambe

ASESOR

Jose Carlos Arriaga Saavedra

https://orcid.org/0000-0003-4528-795X

Chiclayo, 2023

La madera como alternativa para reducir las emisiones de CO2 durante la construcción de edificaciones en altura en Chiclayo

PRESENTADA POR

Dilmer Gonzales Curinambe

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

ARQUITECTO

APROBADA POR

Gonzalo Mauricio Echeandia Vanderghem
PRESIDENTE

Cesar Fernando Jimenez Zuloeta
SECRETARIO

Jose Carlos Arriaga Saavedra
VOCAL

Dedicatoria

Es un gran placer para mi dedicar esta tesis a mis padres, quienes con su apoyo y motivación han sido fundamentales para que pudiera completar este proyecto con éxito. A mis dos hermanas, por creer siempre en mí.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Jenniffer por su motivación y apoyo. Al arquitecto Raúl Gálvez por su invaluable apoyo y dedicación desde el inicio de este proyecto, su guía y conocimiento han sido fundamentales para el éxito de esta investigación. Y por último a mi asesor, arquitecto José Arriaga por su guía y orientación durante el desarrollo de esta tesis.

La madera como alternativa para reducir las emisiones de Co2 durante la construcción de edificaciones en altura en Chiclayo

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	15%	6%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	oa.upm.es Fuente de Internet	1%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	zaguan.unizar.es Fuente de Internet	1%
5	José Luis Moro. "El proyecto constructivo en arquitectura – del principio al detalle", Springer Science and Business Media LLC, 2023 Publicación	<1%
6	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov Fuente de Internet	<1%
	www.mdpi.com	

Índice

Resumen **6**

Abstract **7**

Introducción **8**

Revisión de literatura **10**

Materiales y métodos **14**

Resultados y discusión **18**

Conclusiones **32**

Recomendaciones **33**

Referencias **34**

Anexos **37**

Resumen

El crecimiento de la población es cada vez más frecuente, lo que implica que las ciudades deben responder a esta demanda mediante la construcción viviendas. Sin embargo, este proceso conlleva una serie de procedimientos que están vinculados a los materiales de construcción, muchos de los cuales generan un impacto ambiental significativo. Por lo tanto, es necesario buscar alternativas que empleen materiales de construcción de base biológica. La presente investigación pretende generar alternativas para la construcción de edificios residenciales en altura en Chiclayo mediante el uso de un material más eficiente para controlar las emisiones de CO2 durante la fase de construcción. Para lograr este objetivo, se diseñó una metodología que se divide en tres fases. La primera se basa un estudio general sobre el impacto de los materiales tradicionales y la madera a partir del análisis del ciclo de vida, mediante los indicadores de la fase de construcción del ACV. La segunda implica el estudio de materiales de base biológica, a partir de sus técnicas y sistemas constructivos. Por último, la tercera fase contempla la generación de estrategias de construcción a partir de los resultados de la primera fase y las técnicas constructivas de la segunda fase. Los resultados obtenidos señalan una eficiencia de la madera para la reducción de emisiones de CO2 sobre materiales como el concreto y acero. Además, dentro de los sistemas constructivos en madera, existe una predominancia por el uso de sistemas combinados y la utilización de madera contralaminada en la construcción de los edificios.

Palabras clave: Construcción en altura, Materiales de construcción, Dióxido de carbono, Edificios de madera

Abstract

Population growth is becoming more and more frequent, which means that cities must respond to this demand by building housing. However, this process involves a series of procedures that are linked to construction materials, many of which generate a significant environmental impact. Therefore, it is necessary to look for alternatives that use bio-based construction materials. The present research aims to generate alternatives for the construction of high-rise residential buildings in Chiclayo by using a more efficient material to control CO2 emissions during the construction phase. To achieve this objective, a methodology was designed that is divided into three phases. The first is based on a general study of the impact of traditional materials and wood based on life cycle analysis, using the indicators of the construction phase of the LCA. The second involves the study of bio-based materials, based on their construction techniques and systems. Finally, the third phase contemplates the generation of construction strategies based on the results of the first phase and the construction techniques of the second phase. The results obtained show the efficiency of wood in reducing CO2 emissions over materials such as concrete and steel. In addition, within the wood construction systems, there is a predominance of the use of combined systems and the use of cross-laminated timber in the construction of buildings.

Keywords: High-rise construction, Building materials, Carbon dioxide, Wooden buildings.

Introducción

La construcción en el mundo está generando un impacto significativo en el medio ambiente debido a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y las emisiones de Carbono (CO2) producidas por la utilización de los materiales clásicos, como el concreto y acero. Al respecto Churkina y Organshi (2022) sostienen que el sector global de la construcción se ha convertido en un principal contribuyente al aumento de las emisiones antropogénicas de CO2. A medida que la población mundial siga creciendo, se espera que la demanda de construcción de nuevas viviendas aumente para abastecer a la población, lo que puede aumentar las emisiones en los próximos años. Según las predicciones de las Naciones Unidas, se espera que la población mundial alcance los 9,7 mil millones de habitantes para 2050, lo que seguirá siendo una gran cantidad de materiales para cubrir toda el área a construir para la población.

En particular, Chiclayo una de las ciudades principales de Perú, en los últimos años ha experimentado un crecimiento demográfico significativo, por lo que la demanda de viviendas ha ido aumentando y la ciudad enfrenta un desafío para frenar el impacto ambiental generado por la construcción con los materiales convencionales. En consecuencia, resulta esencial que se busquen alternativas sostenibles a los materiales de construcción tradicionales para reducir el impacto ambiental de la construcción en Chiclayo y en todo el mundo.

Por lo tanto, es necesario generar soluciones que, desde una perspectiva arquitectónica se busca reducir las emisiones de CO2 mediante alternativas constructivas y de diseño tomando a la madera como material principal para edificaciones residenciales en altura. Si bien, la construcción en madera no es algo nuevo en la industria de la construcción, diferentes estudios afirman que sustituir la madera por concreto y acero a una escala significativa en la construcción de edificios, ayudará a reducir notablemente las emisiones de CO2 en el sector de la construcción y además las ciudades funcionarán como almacenes de carbono.

Además, Douglas T. y Ding G. (2018) consideran a la madera como un material renovable que tiene la particularidad de brindar eficiencia en los procesos de construcción residencial que ayuda reducir el impacto ambiental ya que no usa mucha energía para la construcción, mantenimiento y demolición de edificios, esto comparado con los sistemas de construcción convencionales en hormigón y acero.

En consecuencia, conlleva a plantear la siguiente pregunta: ¿Cómo reducir las emisiones de Co2 generado en la fase de construcción de edificios residenciales en altura en Chiclayo? A partir de esto, dentro de la investigación se plantea objetivo general, establecer alternativas a la construcción de edificios residenciales en altura mediante el uso de un material más eficiente para reducir las emisiones de CO2. Lo que conlleva a la formulación de tres objetivos específicos para lograr dicha propuesta.

El primero se basa en comparar los estudios analíticos sobre emisiones de CO2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura. Como segundo objetivo específico se plantea evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura. Por último, proponer estrategias de diseño y construcción en madera para la aplicación en la construcción de edificios residenciales en altura en Chiclayo.

De este modo, la madera se considera un recurso renovable y tiene el potencial de proporcionar eficiencias en los procesos de construcción residencial y reducir los impactos ambientales. (Douglas T. y Ding G., 2018). A partir de esto, la investigación surge por el interés de estudiar el impacto que genera la madera como material dentro de los procesos de construcción, respaldado por la preocupación sobre el cambio climático y las emisiones de CO2 que producen la construcción en acero y hormigón causando daño al medio ambiente.

Además, la investigación se realiza con el fin de generar estrategias de diseño y construcción para controlar las emisiones de CO2 en los procesos constructivos para lograr edificios y ciudades más sostenibles que puedan funcionar como contenedores de carbono y puedan generar una mejor calidad de vida para las personas, por otro lado, se pretende concientizar a las autoridades competentes y lectores, seguir investigando sobre el tema para descubrir nuevos métodos, técnicas, y procesos constructivos con la madera.

Revisión de literatura

Antecedentes

Según Churkina, G., Organschi, A., Reyer y CPO (2020), en su investigación: "Los edificios como sumidero mundial de carbono", sostienen que una de las causas principales sobre el problema de las emisiones de GEI específicamente de CO2, es el rápido crecimiento de la población mundial, lo cual supone un gasto de energía y recursos debido a la gran demanda para la construcción de nuevas residencias y otros equipamientos que abastezcan a la población.

Además, se sabe los materiales asociados a esta ola, tales como el acero, cemento y otros materiales no dejarán de producirse, logrando convertirse en una fuente importante de emisiones de CO2. A partir de esto realizan un análisis sobre el potencial que tienen los edificios en altura diseñados con madera para que sirvan como almacenes de carbono a largo plazo y evitar las emisiones de CO2 de materiales de construcción fabricado a base de minerales.

Por su parte, Chen, CX, Pierobon, F., Jones, S., Maples, I., Gong, Y. y Ganguly, I. (2021), en un estudio sobre el impacto de los materiales de construcción en China sostienen que se genera debido al gran avance del desarrollo económico y social del país que está estrechamente relacionado con un auge en la construcción de edificios, la cual ha causado una gran demanda de recursos y por ende un grave impacto al medio ambiente. El estudio busca lograr una comparación del hormigón y madera maciza mediante un "enfoque de Life Cycle Assessment (LCA)" o Análisis del Ciclo de Vida (ACV), sobre el impacto ambiental que genera un edificio de hormigón y un edificio de madera teniendo en cuenta que este último utiliza madera contralaminada como material principal. Los resultados demostraron que el edificio de madera logra una reducción del 25% sobre el calentamiento global en comparación con el hormigón.

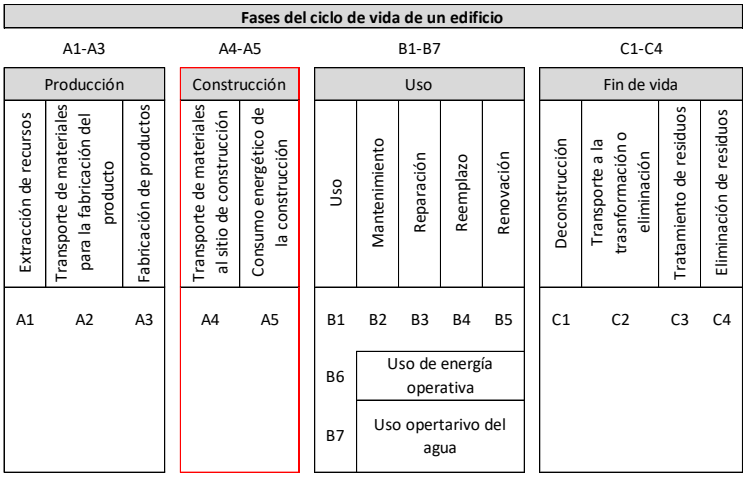
Por otro lado, MGA (2012), considera y reafirma que el sector de la construcción presenta alrededor de un tercio de las emisiones de CO2 en todo el mundo, este impacto se produce por "el uso directo de energía incorporada dentro de los materiales propios de los edificios". Ante esto, considera que existen dos formas que pueden controlar las emisiones de CO2 y GEI. 1) "reducir las emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero" y 2) "encontrar formas de almacenar carbono y otros gases de efecto invernadero".

Bases teóricas

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es aceptado como forma principal para evaluar y comparar el impacto ambiental que producen diferentes materiales de construcción, productos y estructuras durante toda su vida útil. Adel Yunis & Ambrosio Dodoo (2022), sostienen que el ciclo de vida útil de un edificio comienza desde la extracción, producción y transporte de materia prima y que estos mismos continúan con el proceso de construcción, operación, mantenimiento y demolición final del edificio.

Figura 1

Fases del ciclo de vida de un edificio según el ACV



Nota: La tabla ha sido traducida de la investigación Comparative Life Cycle Assessment of Mass Timber and Concrete Residential Buildings: A Case Study in China, Chen, CX; Pierobón, F.; Jones, S.; arces, I.; Gong, Y.; Ganguly, I. 2022

Tal como lo describe Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchí, A. (2010)., se trata de un proceso abierto de materiales como el concreto y acero, y la cantidad de energía incorporada que estos materiales producen, plantea que para lograr un equilibrio de un ACV cerrado se debe tener en cuenta que después de su demolición o deconstrucción final de un edificio continúe con el proceso de reciclaje, reutilización o rehabilitación (ver anexo 1).

Además E. Giama & AM Papadopoulos (2015), sostienen que dentro del ACV además de incluir el impacto de energía incorporada, se debe tener en cuenta “la cobertura de todos los impactos ambientales relacionados con el ciclo de vida de los productos, como las emisiones al agua, aire, suelo, residuos, consumo de recursos o uso de la tierra y la agregación de los efectos ambientales en consideración de posibles impactos y su evaluación con el fin de dar orientaciones apoyo a la decisión ambiental”.

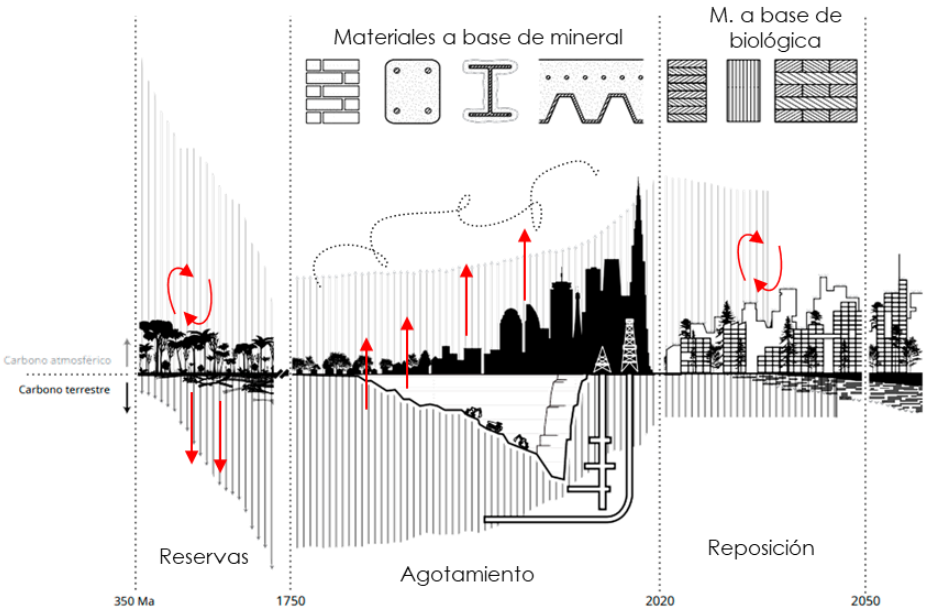
Por otro lado, según Giama & AM Papadopoulos (2015), la huella de carbono es el segundo método de evaluación de impacto ambiental, basada en los datos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero en todos los productos o procesos. Además, Vittorio Salvadori (2017), sostiene que la huella de carbono es la "medida de dióxido de carbono emitido a la atmósfera como resultado de actividades, productos o comportamientos particulares". Además, muchos de los materiales como el concreto, acero y ladrillo utilizados en la construcción dejan una huella muy grande de carbono, en comparación con la madera, la cual presenta una huella muy pequeña debido a "que la luz solar y el proceso de fotosíntesis ayudan a los árboles a absorber CO2. Los árboles almacenan la C y liberan la O2 de vuelta a la atmósfera". (Vittorio Salvadori, 2017).

Lo que conlleva a pensar que la madera funciona como un contenedor de carbono a partir del secuestro o almacenamiento de carbono. Este concepto se tiene una estrecha relación con materiales de construcción de base biológica. Henrik H. (2019) sostiene que los sumideros de carbono están estrechamente relacionados con "los bosques y otras biomasas, su vitalidad e incremento volumétrico", debido a que la cantidad de CO2 almacenado en los bosques vivos y biomasa orgánica del suelo están en una cantidad semejante al CO2 total del volumen en la atmósfera.

Por otro lado, Churkina, G., Organschi, A., Reyer, CPO (2020) presentan tres fases sobre las concentraciones de carbono a lo largo del tiempo. Primero menciona la formación de reservas de carbono en el subsuelo y en el bosque hace millones de años y que en este proceso las concentraciones de CO2 en la atmósfera disminuyeron lentamente. Además, explica como el crecimiento de las ciudades y la industria han agotado gradualmente las reservas de carbono terrestre lo cual ha intensificado las concentraciones de CO2 en el ambiente, otro factor que influye en este proceso son los edificios urbanos de gran altura construidos principalmente con concreto y acero, producidos con la materia prima y combustibles extraídos del subsuelo. Por último, se muestra una oportunidad sobre las ciudades y el crecimiento de estas, mediante la utilización de la madera como material central y materiales derivados de base biológica, los cuales pueden servir como sumideros de carbono construidos.

Figura 2

Fases de concentración de carbono a lo largo del tiempo

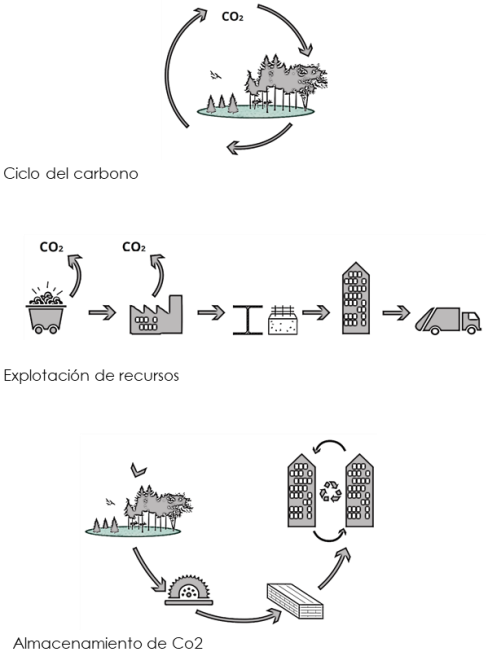


Nota: El gráfico representa las tres fases de concentración de carbono desde las reservas hasta reposición. Fuente: Churkina, G., Organschi, A., Reyer y CPO, 2020

Del mismo modo, Michael G. y Jim T. (2020) explican el secuestro de carbono tomando en cuenta a los bosques como primera máquina de almacenamiento, ya que la tasa a la que los árboles absorben dióxido de carbono varía según la especie, pero en todos los casos es directamente proporcional a la tasa de crecimiento. Además, cuando se utiliza la madera como material en la construcción u otros artículos duraderos, los beneficios en que se pueda almacenar carbono aumentan en su vida útil, ya que el carbono quedará secuestrado, mientras que la reposición de los árboles utilizados para la construcción empezará a unir nuevamente carbono, garantizando que el ciclo continúe.

Figura 3

Proceso de secuestro de carbono



Nota: La figura muestra el proceso de secuestro de carbono a partir de la utilización de la madera como material para construir edificios. Fuente: Michael G. y Jim Tagart., (2020).

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

El estudio plantea un enfoque de investigación cualitativo ya que, según Hernández R., Fernández C., Baptista P., (2014) se basa en un planteamiento abierto aprovechando la literatura existente para el análisis crítico, además no se fundamenta en la estadística y el proceso de investigación es inductivo.

Por otro lado, el tipo de investigación es no experimental ya que "se limita a observar los acontecimientos sin intervenir en los mismos entonces se desarrolla". (Grajales, T. 2000). Además, maneja un diseño transversal, ya que está dirigida a un tiempo y momento definido.

Población y muestra

El escenario de estudio se centra en el contexto del cambio climático, producto de las emisiones de dióxido de carbono en el sector de construcción de edificios residenciales en Chiclayo, una de las ciudades principales de Perú. Con este propósito, se plantearon diferentes fases para obtener datos referentes al contexto.

La primera fase consiste en comparar los estudios analíticos sobre emisiones de CO2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura. Como primer paso, se realizó una búsqueda sistemática de literatura en las bases de datos de Scopus y Web of Sience, relacionados a los tres materiales elegidos y teniendo en cuenta los criterios del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) establecidos en la investigación "A Study on the Analysis of CO2 Emissions of Apartment Housing in the Construction Process". (Lee, J., Tae, S., & Kim, R. 2018). (Fig. 1). Los datos recopilados fueron procesados utilizando fichas previamente codificadas: F00-C que corresponde a estudios de caso en concreto, F00-A relacionado a artículos en acero y F00-M a edificios en madera. En un segundo paso, se llevó a cabo una comparación detallada utilizando los datos procesados previamente, teniendo en cuenta los códigos correspondientes.

La segunda fase comprende el evaluar los beneficios que ofrece la madera como elemento constructivo alternativo para la aplicación en edificios residenciales en altura en Chiclayo. Se utilizaron estudios de caso para el reconocimiento y análisis de la madera, a partir de la clasificación Estructuras y estructuras de soporte, componentes y elementos estructurales y funciones de protección, basadas en el libro "Manual of multi-Storey: timber construction".

La tercera fase se basa en proponer estrategias de diseño y construcción en madera para la aplicación en la construcción de edificios residenciales en altura en Chiclayo. Para lograr este objetivo se utilizará como sustento el análisis comparativo realizado en el primer objetivo y bajo la aplicación de los criterios estudiados en el segundo objetivo.

Criterios de selección

Considerando que la investigación plantea un enfoque cualitativo, fue necesario generar una muestra para los dos primeros objetivos específicos. Dicha muestra fue tomada a partir de una búsqueda sistemática de literatura en las bases de Scopus y Web of Sience.

Tabla 1

Criterio de selección de estudios de caso

ALCANCE	MADERA	CONCRETO	ACERO
BASE DE DATOS	SCOPUS		
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	"Timber Buildings" "Life Cycle Analysis"	"Timber Buildings" "Life Cycle Analysis"	"Steel Buildings" "Life Cycle Analysis"
NÚMERO DE ARTÍCULOS	22	80	12
FILTRO 1 Artículos seleccionados	Revisión general: resúmen, palabas clave, metodología 4	11	4
FILTRO 2 Artículos seleccionados	Procesamiento de datos **2**	**2**	**2**

Operacionalización de variables

Tabla 2

Operacionalización de variables

TÍTULO	VARIABLE	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTO
LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE CO2 EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN ALTURA EN CHICLAYO	VARIABLE DEPENDIENTE: Emisiones de Co2	ACV en sistemas constructivos	Concreto	Fase de construcción	*Transporte de materiales al sitio de construcción*	Fichas de análisis documental, Ficha comparativa
					Consumo energético de la construcción	
			Acero	Fase de construcción	*Transporte de materiales al sitio de construcción*	
					Consumo energético de la construcción	
			Madera	Fase de construcción	*Transporte de materiales al sitio de construcción*	
					Consumo energético de la construcción	
	VARIABLE INDEPENDIENTE: Construcción en madera	Tecnología de la madera	Sistemas constructivos	Estructuras y soporte	*Entramado pesado*	Ficha técnica Imágenes
					Entramado ligero	
					Sistemas combinados	
					Arriostramiento	
					Estructuras pretensadas	
				Muros	*Paneles de madera laminada*	
					Muros de CLT	
					Muros de LVL	
				Techos	*Techos de madera laminada*	
					Techos de vigas	
					Techos de caja	
					Techos de CLT	
					Techos de LVL	
				Funciones de protección	*Protección contra el fuego*	
					Protección contra la humedad	
					Protección acústica	
					Conservación de la madera	
					Aislamiento térmico	
		Propuesta	Sistemas constructivos en Chiclayo	Estructuras y soporte		Fuentes secundarias
				Muros		
				Techos		
				Funciones de protección		
			Estrategias	Estructuras y soporte		Cuadro Comparativo
				Muros		
				Techos		
				Funciones de protección		

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 3

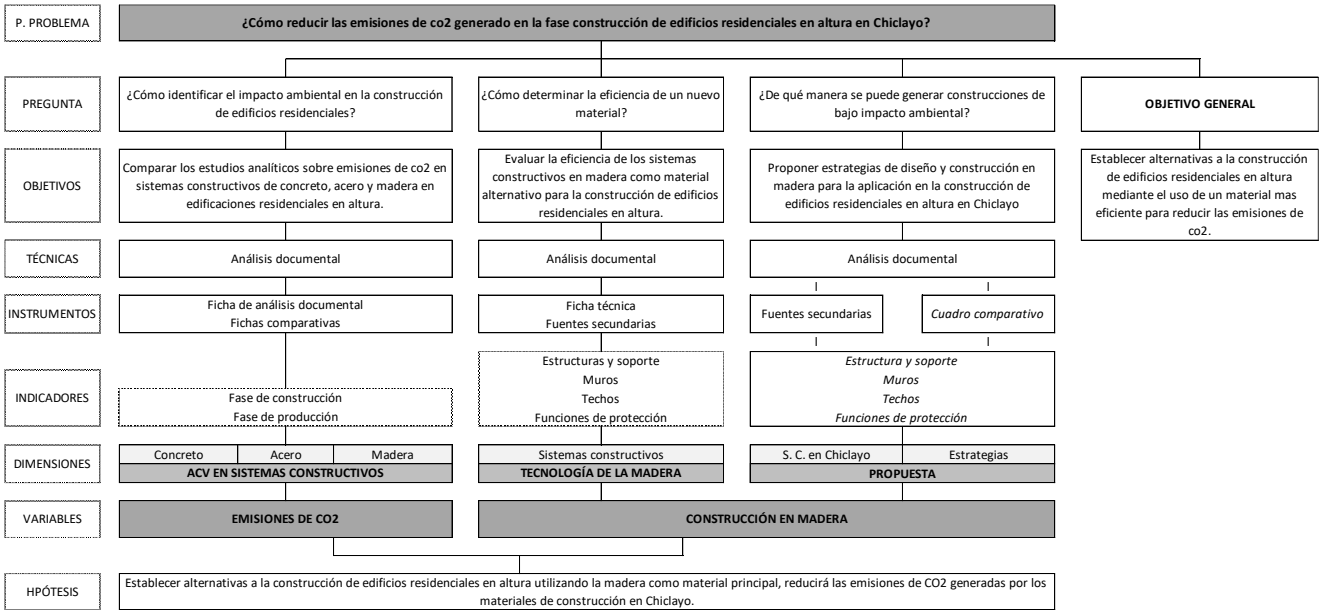
Técnicas e instrumentos de recolección de datos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y LOGROS ASOCIADOS		TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
O.E. 1	**Comparar** los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura.	Análisis de documentos	Fichas bibliográficas Fichas de comparación
O.E. 2	**Evaluar** la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura.	Análisis de documentos	Fuentes secundarias
O.E. 3	**Proponer** estrategias de diseño y construcción en madera para la aplicación en la construcción de edificios residenciales en altura en Chiclayo.	Análisis de documentos	Fuentes secundarias

Matriz de consistencia

Tabla 4

Matriz de consistencia



Resultados y discusión

OE1: Comparar los estudios analíticos sobre emisiones de CO2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura.

En la actualidad es común observar diversos materiales y sistemas constructivos empleados en la construcción de un edificio. No obstante, se destaca que durante todo este proceso la huella ecológica suele ser muy alta debido a las diversas etapas que involucra la producción los materiales utilizados. En este sentido, diversos estudios de investigación sobre las emisiones de dióxido de carbono (CO2) han empleado el sistema de análisis de ciclo de vida para identificar la huella ecológica generada durante el proceso de extracción, transporte, producción, construcción e incluso hasta el fin de vida de un edificio o material específico. De este modo, se ha tomado como base el análisis del ciclo de vida para identificar el impacto ambiental del concreto, acero y madera en su etapa de construcción.

Durante esta fase, se revisaron un total de 114 artículos, tomando en cuenta los límites predefinidos en la investigación. De ellos, el 70% corresponde a casos de estudio relacionados con el concreto, mientras que solo el 11% tiene relación con la madera. Esta disparidad se explica por el hecho de que el material con más predominancia en el sector de la construcción es el concreto, lo cual ha generado una mayor cantidad de literatura disponible. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos están basados en las variables establecidas durante la búsqueda sistemática. De ahí que los porcentajes reflejan una muestra de la predominancia de estudios según el análisis del ciclo de vida.

Figura 4

Porcentaje de artículos revisados

La diferencia radica en el análisis de los datos relacionados a las emisiones de CO2 de los diferentes materiales. Sin embargo, para realizar este proceso se codificaron los artículos de estudio diferenciándolos por cada material analizado. Concreto (Fxx-C), acero (Fxx-A) y madera (Fxx-M), tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Codificación de artículos según el material estudiado

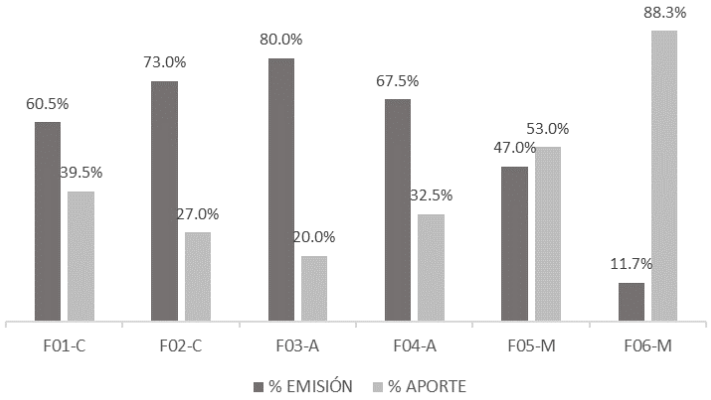
CÓDIGO	NOMBRE DE ARTÍCULO	AUTOR	MÉTRICA
F01-C	Evaluación de las emisiones de CO2 durante el ciclo de vida de las estructuras de hormigón armado: Cuatro casos de China	Hui Li, Quanxue Deng, Jingxiao Zhang, Bo Xia y Martin Skitmore	44 citas Percentil 90 2,42 FWCI
F02-C	Un estudio sobre el análisis de las emisiones de CO2 de las viviendas de apartamentos en el proceso de construcción	Jonggeon Lee, Sungho Tae, y Kim Rakhyun	28 citas Percentil 82 1,57 FWCI
F03-A	Evaluación medioambiental del ciclo de vida de edificios ligeros con estructura de acero y muros y suelos de cemento	Mona Abouhamad y Metwally Abu-Hamd	7 citas Percentil 59 0,6 FWCI
F04-A	Evaluación comparativa del ciclo de vida de estructuras de acero y hormigón: Estudio de caso de dos edificios residenciales en Irán	Amir Oladazimi, Saeed Mansour, y Seyed Abbas Hosseinijou	16 citas Percentil 87 1,97 FWCI
F05-M	Evaluación comparativa del ciclo de vida de edificios residenciales de madera maciza y hormigón: Un estudio de caso en China	Cindy X. Chen, Francesca Pierobon, Susan Jones, Ian Maples, Yingchun Gong y Indroneil Ganguly	18 citas Percentil 97 5,8 FWCI
F06-M	Evaluación comparativa del ciclo de vida de un edificio alto de madera maciza con una alternativa equivalente de hormigón armado utilizando el estimador de impacto Athena para edificios	Zhongjia Chen, Hongmei Gu, Richard D. Bergman, y Shaobo Liang	32 citas Percentil 92 2,64 FWCI

Durante este proceso, los estudios de caso demostraron porcentajes similares de emisiones de Co2. El artículo F01C en comparación con el F04-A mantienen una emisión similar siendo la diferencia de solo el 7%. Esta variación está relacionada con la fase de construcción, según el análisis del ciclo de vida. El porcentaje más elevado lo presenta el estudio de caso F03-A con un 80% de emisión total. Esto se debe a que el acero está combinado con el concreto, lo cual genera indicadores similares de impacto ambiental.

Por último, resaltan los artículos F05-M y F06-M, correspondientes a estudios de caso en edificios de madera. Estos estudios demostraron porcentajes de aporte para la reducción de GEI del 53% y 88.3% respectivamente. Cabe mencionar que, dentro del estudio F05-M, el edificio combina materiales de madera y concreto, pero aun así no sobrepasa el 50% de emisiones. Esto indica que, al utilizar solo lo necesario de concreto y reemplazar algunos elementos constructivos por madera, la huella de carbono reduce casi en un 30% en comparación con los estudios en concreto y acero.

Figura 5

Porcentaje de emisiones de Co2 y aporte para la reducción de emisiones de GEI.



En relación con la literatura existente sobre las emisiones de CO2 de los tres materiales analizados, los resultados indican que existe una predominancia sobre el estudio del concreto como material de construcción y sus propiedades en términos de su huella ecológica. Sin embargo, esto responde a las variables de búsqueda y a la selección de los casos de estudio específicos, ya que, para fines de la investigación, se buscaban edificios con una densidad media – alta a los que se clasifique como rascacielos y utilicen sistemas constructivos industrializados.

Es evidente que, dentro del sector de la construcción hay mucha más predominancia de este tipo de edificios de densidad alta con materiales como el acero y el concreto. En cuanto a edificaciones de alta densidad en madera, se podría decir que surge a partir de la primera década del siglo XXI, antes de eso solo se realizaban construcciones de madera industrializada para viviendas unifamiliares, mediante la prefabricación. No obstante, hay que tener en cuenta que algunas culturas orientales utilizaban la madera para la construcción de sus templos como la Pagoda Japonesa del año 711, o las casas medievales de occidente construidas con entramados de madera con una altura que oscilaba entre los tres a seis pisos a los cuales se les puede considerar como edificios de densidad media.

Ante esto, algunas investigaciones relacionadas con la madera consideran casos hipotéticos para el análisis de la huella ecológica. Jussila et. al (2022), en su investigación sobre literatura existente de edificios altos de CLT, encontró que la mayor parte está relacionada a la producción y consumo del material para edificaciones menores y muy poca sobre edificios ya construidos. Sin embargo, no existe un impulso sobre el financiamiento para la construcción de edificios de madera a nivel general, además, existe un gran porcentaje sobre la literatura existente que está relacionada con países Nórdicos, mientras que un número limitado de artículos corresponden a áreas geográficas de EE. UU, Reino Unido y Europa Central.

Esto sugiere que, en los países nórdicos, existe un mayor interés científico en la utilización de la madera como material constructivo para reducir la huella ecológica. No obstante, durante el proceso búsqueda de información se encontraron artículos que abordan a la madera con el mismo fin medioambiental en países como Canadá, EE. UU y Chile. En tal sentido, los resultados de la primera fase demuestran el grado de literatura científica existente respecto a las variables de búsqueda planteada en esta investigación. Por otro lado, de esta misma base de datos procesada, se obtuvieron datos relevantes respecto a la huella ecológica de cada material. Tanto en la emisión y secuestro de dióxido de carbono, que sería el aporte del edificio hacia el medio ambiente.

Tomando como punto de partida la fase de construcción según el método de análisis del ciclo de vida de un edificio, los resultados obtenidos indican un mayor aporte para la reducción de la huella de carbono en los edificios que presentan sistemas constructivos en madera. Iqbal (2021) sostiene que la madera presenta una gran eficiencia como material sostenible con propiedades de secuestro de carbono, comparado a las de otros materiales como el concreto y acero. Los resultados que maneja en su investigación demuestran una emisión de aproximadamente 1600 kgCo2eq en concreto y acero, mientras que en madera oscila entre los 600 kgco2eq y 1000 kgCo2eq. Es importante destacar que los resultados corresponden a los tipos de variables y fases del ACV que consideraron los investigadores, en la que influye la huella ecológica generada desde la extracción, transporte, fabricación y la construcción del edificio.

Esto sugiere que los resultados de la huella ecológica de cada material son diferentes si solo se considera algunas fases del ACV y la densidad de los edificios. Tal como sucedió en el análisis realizado en madera del F06-M, los resultados sugieren una emisión de Co2 muy elevada, ya que se trata de una cifra de 2.06×10^5 kgCo2eq. Sin embargo, en términos de porcentaje corresponde a solo el 11.70% de emisión total del edificio debido a su área y densidad.

Cabe destacar que, todos los estudios de caso utilizan el concreto como material complementario para cimentaciones. A pesar de su uso, la huella de carbono en edificios de madera no sobrepasa el 50% de emisión, tal como sucedió con el estudio de caso F05-M. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el porcentaje de emisiones dependerá del contexto en el que se ubique el edificio, ya que influye la etapa de transporte de materiales al sitio de construcción, y es que, esta etapa es la que mayor huella genera dentro de la fase estudiada.

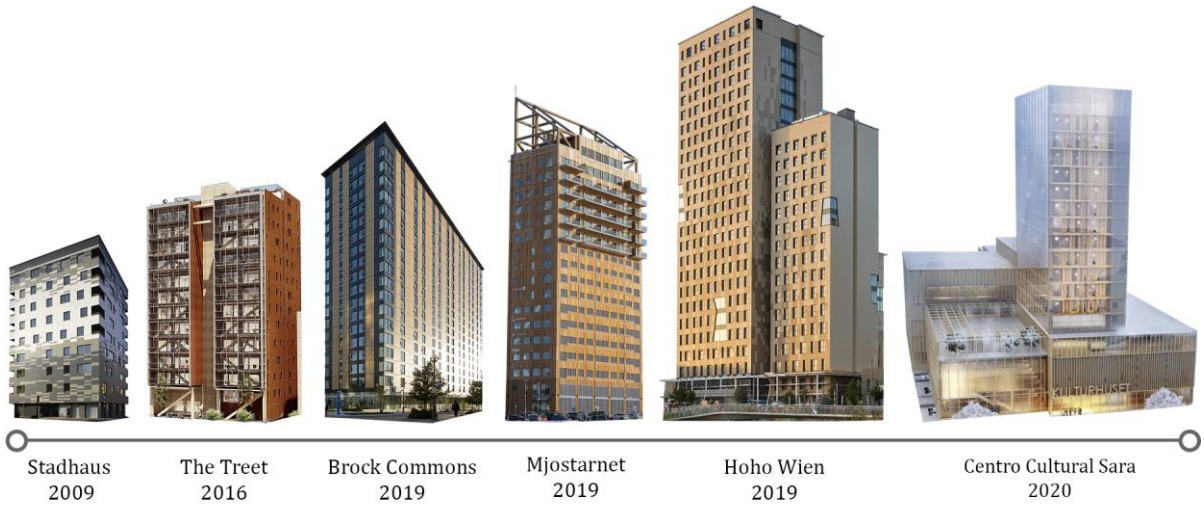
OE2: Evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura.

Las construcciones con estructuras de madera se han vuelto cada vez más comunes en Europa, Norteamérica y Australia. Los sistemas constructivos que se relacionan con este material han demostrado altamente eficientes resultados en la reducción de la huella ecológica en la construcción de edificios. Países como Noruega, Canadá e Inglaterra, han comenzado a adoptar nuevos sistemas constructivos que se basan en la madera como material principal para la construcción de edificaciones de gran altura.

Ahora bien, para conocer los diferentes sistemas constructivos se han tomado seis edificios como estudios de caso, para determinar la viabilidad de los sistemas constructivos con madera. Se tratan de edificaciones en su mayoría de densidad media y alta, con una altura que oscila entre los nueve a veinticuatro pisos.

Figura 6

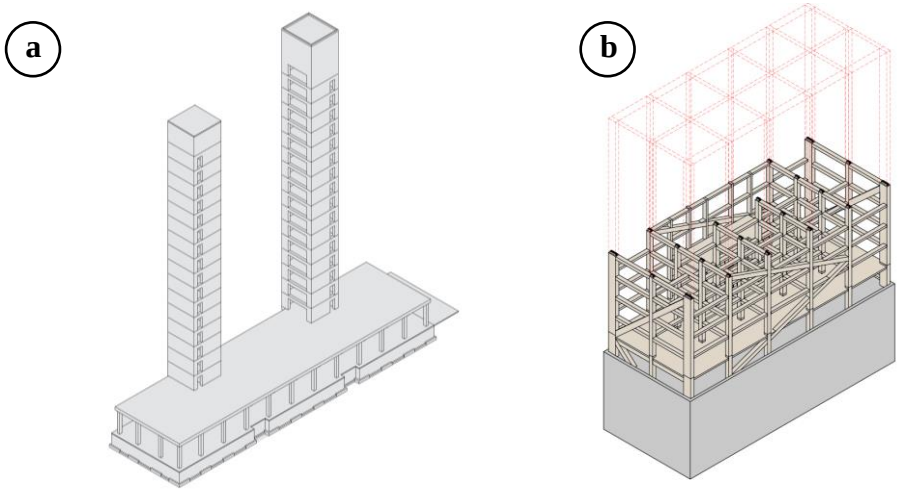
Selección de estudios de caso



Durante el proceso de estudio de caso, se examinaron diversos sistemas constructivos aplicados dentro de los edificios. En la categoría de estructura y soporte, se encontró un sistema combinado de madera y concreto presente en todas las edificaciones analizadas. En la mayoría de los casos, el primer nivel se construye utilizando de un sistema aporticado de vigas y columnas de concreto armado, con el objetivo de soportar las cargas de los pisos superiores y actuar como cimentación del edificio. Sin embargo, para desarrollar edificaciones con mayor altura, se utiliza un sistema de arriostramiento en la edificación, además permite que se construya con madera desde el primer nivel posicionado sobre una plataforma de concreto.

Figura 7

Sistema de pórticos en primer nivel junto con núcleos de circulación y sistema de arriostres.

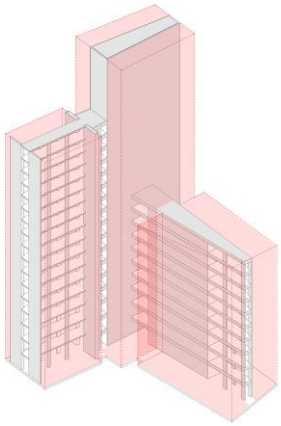


Nota: Sistema aporticado edificio Brock Commos (a), sistema de arriostramiento edificio Mjostarnet (b). Fuente: Green, M., & Taggart, J. (2020).

Así mismo, para lograr la construcción de edificios de madera para una densidad alta, algunos edificios complementan la estructura del edificio con núcleos de concreto armado en donde se alberga las circulaciones y sistemas de evacuación, sistema muy utilizado dentro del sector de la construcción debido a la estabilidad y rigidez que proporciona. Sin embargo, la tendencia del material utilizado muestra a la madera laminada encolada (glulam) que puede ser aplicado como muros de carga posicionados sobre una plataforma de concreto o sobre un primer nivel con sistema aporticado. Este mismo material, se aplicó en la mayoría de los edificios analizados como elemento de cigas y columnas debido a las propiedades estructurales que maneja. Sin embargo, un caso particular se presentó en el edificio Hoho Wien, que cuenta con vigas perimetrales de hormigón en toda su estructura debido ya que consta de tres torres de diferentes alturas que se unen al núcleo de la torre principal.

Figura 8

Torres de madera unidas a núcleos de concreto, complementadas con vigas perimetrales

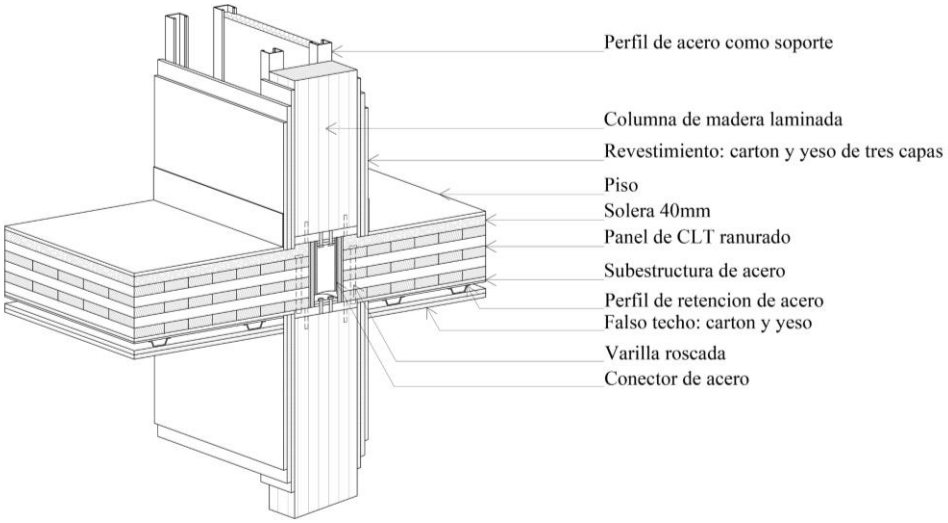


Nota: Sistema de núcleos edificio Hoho Wien. Fuente: Green, M., & Taggart, J. (2020).

Por otro lado, la materialidad utilizada para las divisiones interiores, la investigación mostró una tendencia constante en la utilización de paneles de glulam y CLT. Aunque existen diferencias en el sistema constructivo en la mayoría de los edificios. Una de las soluciones más representativas se trata de un panel de glulam con perfiles de acero como soporte revestido con cartón y yeso de tres capas. Este mismo sistema es aplicado como cerramiento perimetral, con la diferencia de que se utiliza un revestimiento laminado de alta presión (HPL), elaborado con madera y papel, gran parte de estos paneles se van alternando con ventanas de piso a techo.

Figura 9

Esquema constructivo de unión losa y muro

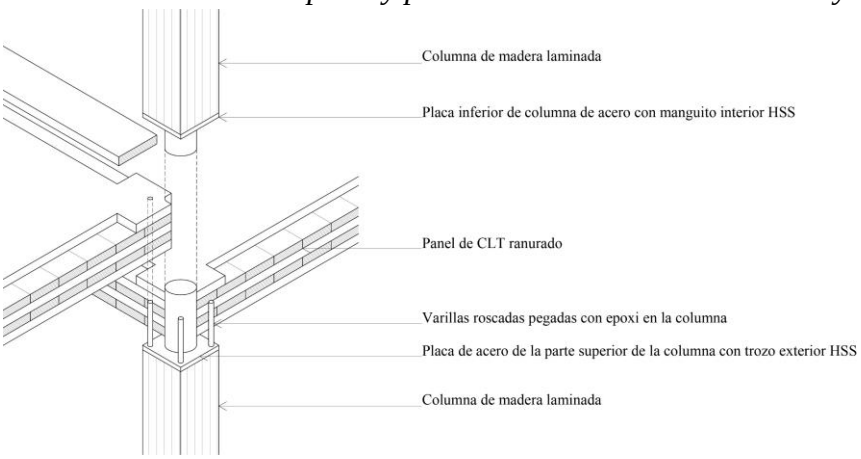


Nota: Axonometría del sistema de muro y losa del edificio Brock Commos Tall Wood House. Fuente: Kaufmann, H., Krötsch, S. & Winter, S. (2018)

En relación con los sistemas utilizados para las losas o techos, todos los estudios de caso utilizan un sistema mediante madera contralaminada como material principal. Sin embargo, según la densidad y el peso del edificio este sistema puede ser combinado con una capa de concreto, apoyada sobre las vigas de madera o en su defecto en vigas de concreto según el planteamiento estructural de la edificación. No obstante, en edificios donde se aplica el sistema de losas con paneles de CLT, se conectan con las columnas mediante elementos de acero que se atornilla directamente en el elemento vertical, este mismo sistema puede ser unido en los núcleos de concreto, mediante anclajes de acero puestos durante la construcción.

Figura 10

Elemento de acero como soporte y pieza de conexión entre columna y losa

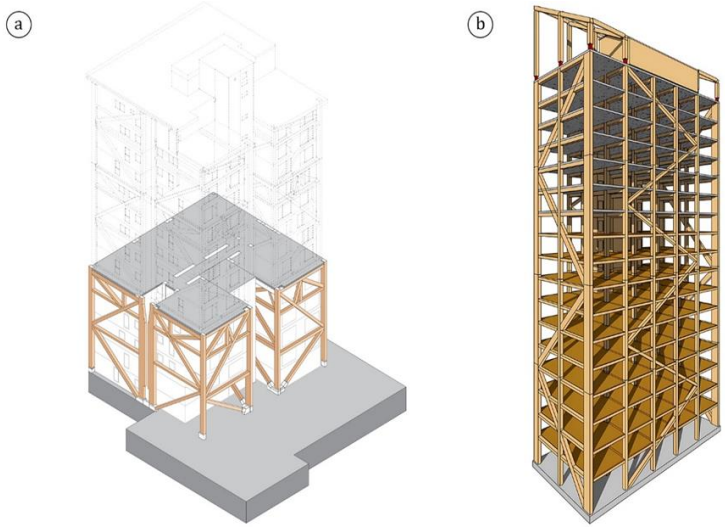


Nota: Axonometría explotada de unión columna y losa del edificio Brock Commos Tall Wood House. Fuente: Kaufmann, H., Krötsch, S. & Winter, S. (2018)

A su vez, el edificio The Treet y Mjostarnet presentan casos particulares, ya que el primero de ellos presenta cada cuatro niveles un módulo prefabricado independiente con placas de hormigón armado, la cual no forma parte de la estructura principal, si no que sirve para compensar el peso del edificio y evitar que sea balanceado debido a las condiciones ventosas del lugar. Mientras tanto, el edificio Mjostarnet presenta losas de hormigón a partir del nivel 10, ya que debido a su altura y superficie necesita compensar el peso para que la edificación se mantenga estable. En el caso del centro cultural Sara, combina la madera y el acero para cubrir luces muy amplias.

Figura 11

Estructura modular prefabricada cada cuatro niveles y composición estructural a partir de losas de concreto y glulam.



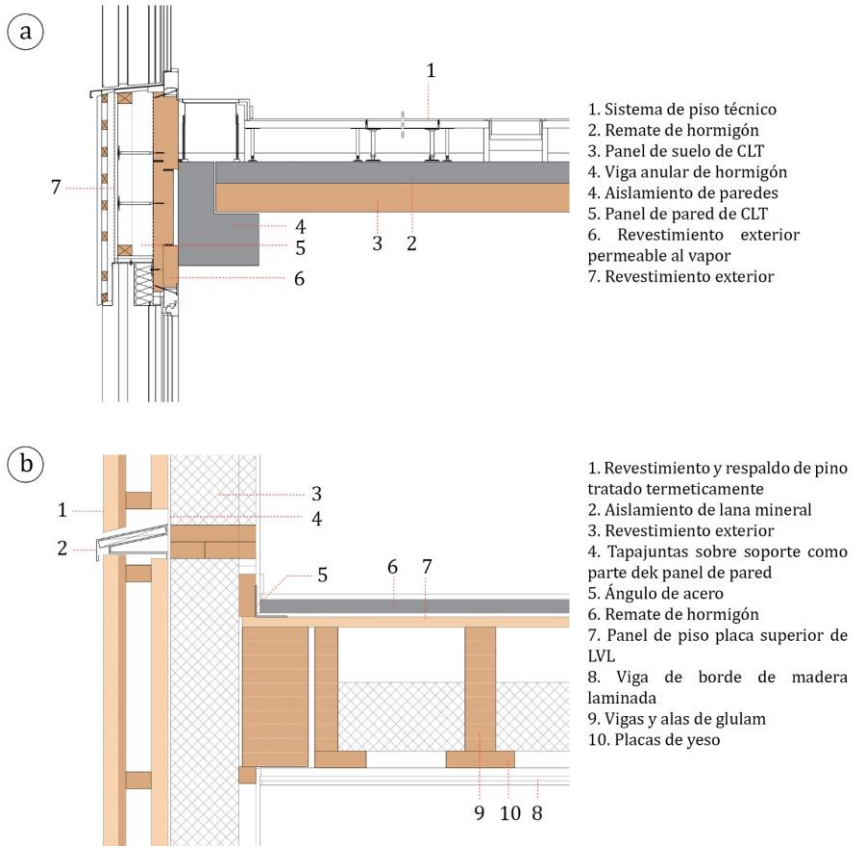
Nota: Gráfico representativo del edificio The Treet (a). Fuente: Green, M., & Taggart, J. (2020). Gráfico representativo edificio Mjostarnet (b). Fuente: Wood construction (2019).

Por otro lado, el sistema de protección y aislamiento varían según la ubicación y uso de estos. De esta manera, para la protección contra el fuego y humedad, se presentan soluciones a partir del recubrimiento de las placas o muros mediante lana mineral y un aislante térmico industrial, en algunos casos la tabiquería interior está recubierta con una capa de yeso capaz de soportar el fuego durante 120 minutos. Así mismo, la fachada de algunos edificios está forradas y aisladas con un revestimiento metálico que niega la propagación del fuego y para cubrir algunos daños que podría sufrir el material en el futuro.

Además, muchos de los estudios de caso complementan los sistemas de seguridad contra incendios mediante el uso del concreto, ya que, debido a sus propiedades, es un buen complemento junto con la madera. Este material se coloca como una capa superior sobre la losa de madera, en comparación a otros sistemas de losa mencionado anteriormente, esta combinación permite generar luces mayores, mejores planteamientos estructurales frente a vibraciones o pandeos ya que proporciona mayor rigidez debido a la hibridación de los dos materiales. Además, respecto a la acústica de los edificios, este sistema es muy interesante ya que la masa de los componentes en madera aumenta.

Figura 12

Sistemas constructivos de aislamiento en fachada y losa



Nota: Corte constructivo de edificios Hoho Wien y Mjostarnet. Fuente: Green, M., & Taggart, J. (2020).

Por último, otra técnica muy común para la protección contra incendios es el proceso de carbonización, específicamente en el edificio Mjostarnet ya que la mayor parte estructural del edificio es en madera y la sección de los elementos permite el uso de esta técnica. No obstante, se pueden combinar diferentes técnicas que permitan la seguridad durante el uso del edificio.

En este estudio, se evaluaron diferentes soluciones constructivas en edificios de madera. Los resultados indican la eficiencia de la madera laminada encolada como material estructural para los edificios. Esto significa que el Glulam presenta una mayor resistencia debido al proceso de composición mediante capas. En comparación con la madera contralaminada, en donde su uso se enfoca en la tabiquería interior y los sistemas de losa ya sea combinada mediante vigas o solo CLT. Sin embargo, para que los edificios mantengan estabilidad y seguridad, fue necesario la utilización del concreto como material complementario. En algunos casos utilizado en la cimentación, como en las losas de los niveles superiores. Sin embargo, la aplicación de este sistema híbrido responde a las condiciones del lugar, tanto en las fuerzas sísmicas como en las condiciones geográficas.

De igual manera, se presentaron soluciones para edificios de mayor altura, mediante sistemas combinados con entramado pesado y arriostramiento a partir de módulos que constituyen algunos niveles y que se repiten en los pisos superiores. De acuerdo con Michael G. y Jim T. (2020), los sistemas combinados en concreto y madera, además de responder a las condiciones del lugar, se utilizan como estrategia para obtener mayores alturas de edificios, sin embargo, las consideraciones de huella ecológica siguen siendo mínimas. Al respecto, dentro de su análisis encontraron que el edificio Hoho Wien utiliza los principios de simplicidad, practicidad y de montaje establecidos en LCT One, uno de los primeros edificios altos en madera construidos en Austria.

Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la eficiencia del Glulam en la construcción de edificios, así como la necesidad de utilizar materiales complementarios como el concreto para garantizar estabilidad y seguridad, ya que la construcción de madera contemporánea se apoya en una amplia variedad de diferentes componentes y productos estructurales que, dependiendo del uso y condiciones del lugar, la aplicación y combinación de estos serán diversos.

OE3: Proponer estrategias de diseño y construcción en madera para la aplicación en la construcción de edificios residenciales en altura en Chiclayo.

Para proponer estrategias efectivas para la construcción de edificios residenciales en Chiclayo, se desarrolló un estudio general de los materiales y procesos constructivos utilizados en dichas construcciones. Los resultados obtenidos, indicaron una clara predominancia en el uso sistemas aporticados compuestos por vigas y columnas de concreto, mientras que las divisiones interiores y los muros perimetrales fueron construidas con muros de ladrillo y concreto revestido con tarrajeo. Además, de acuerdo con el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en 2017, se determinó que el material más utilizado en la construcción de en edificaciones de uso residencial en Chiclayo es el ladrillo y el bloque de cemento, representando el 67.9 % de los materiales empleados en estas construcciones.

Tabla 6

Porcentaje de materiales predominantes en los muros de edificios residenciales en Chiclayo

Area urbana - Provincia de Chiclayo			
Material de construcción predominante en en las paredes	**Casos**	**%**	**Acumulado %**
Ladrillo o bloque de cemento	124336	67.998%	67.998%
Piedra o sillar con cal o cemento	355	0.194%	68.192%
Adobe	55896	30.569%	98.761%
Tapia	53	0.029%	98.790%
Quincha (caña con barro)	638	0.349%	99.139%
Piedra con barro	147	0.080%	99.220%
Madera	271	0.148%	99.368%
Triplay / Calamina / Estera	1155	0.632%	99.999%
Otro	1	0.001%	100.000%
TOTAL	182852	100.000%	100.000%

Nota: Obtenido de INEI (2017)

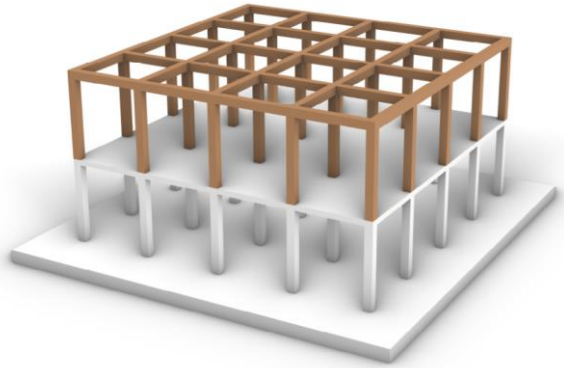
Como se ha podido observar, existe una tendencia predominante sobre el uso del concreto ya que presenta ventajas en términos de durabilidad y resistencia estructural. Sin embargo, este enfoque constructivo combinado con el ladrillo conlleva implicaciones relacionadas con el tiempo de construcción y el impacto ambiental. En este sentido, de acuerdo con el análisis realizado en la fase 1 y 2 en donde se destaca la necesidad de considerar alternativas que permitan reducir la huella ecológica y el tiempo de construcción mediante la prefabricación en edificios residenciales, se ha planteado la utilización de estrategias basadas en la madera industrializada capaz de mantener comportamientos similares al concreto en términos de resistencia estructural.

E1. Construcción con madera sobre sistema aporticado en primer nivel

La estrategia propuesta tiene como objetivo aprovechar las ventajas de la madera en la construcción, adaptándose al contexto geográfico de Chiclayo. Se trata de un sistema aporticado en el primer nivel que funcionará como soporte principal de los niveles superiores del edificio, proporcionando resistencia y estabilidad. Además, se pretende utilizar la menor cantidad de concreto, priorizando el uso de la madera laminada encolada para las columnas y vigas aprovechando la resistencia y durabilidad del material, por último, se utilizará madera contralaminada para la construcción de losas y tabiquería, de esta manera se complementa toda la estructura del edificio.

Figura 13

Esquema estrategia 1

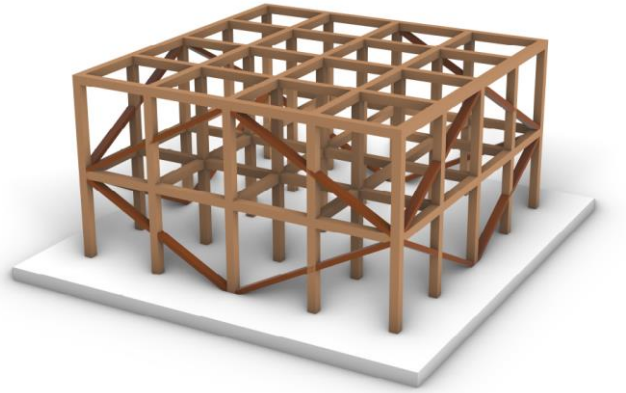


E2. Sistema de arriostramiento sobre plataforma de concreto

La propuesta de este sistema se enfoca en edificios de gran altura y se basa en el uso de sistemas combinados en madera laminada encolada para la estructura principal. Asimismo, se emplea una plataforma de concreto como cimentación en donde se apoyará todo el edificio. La justificación de esta estrategia se basa en aprovechar las ventajas de resistencia y flexibilidad que ofrece la madera laminada encolada, así como la estabilidad proporcionada por la plataforma de concreto.

Figura 14

Esquema estrategia 2

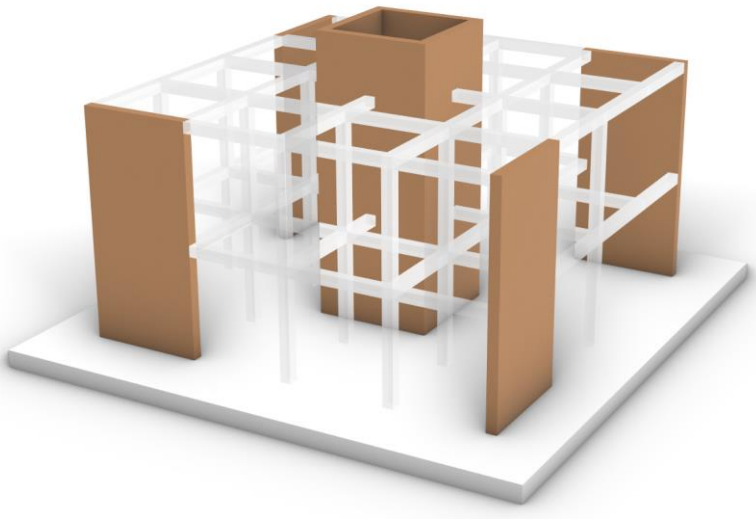


E3. Sistema de muros de carga en madera laminada encolada sobre plataforma de concreto

La viabilidad de esta estrategia se ha evaluado en relación con edificaciones que no sobrepasen los diez niveles, considerando el componente estructural principal. El enfoque consiste en la utilización de madera laminada encolada para desarrollar tola la estructura, destacando especialmente en el uso de muro de carga. Además, este sistema estará complementado con columnas del mismo material sobre una plataforma de concreto. Cabe resaltar que el sistema propuesto aprovecha las propiedades estructurales y estéticas del material propuesto. La tabiquería interior y losas empleará el mismo material y sistema propuesto en la estrategia 1.

Figura 15

Esquema estrategia 3

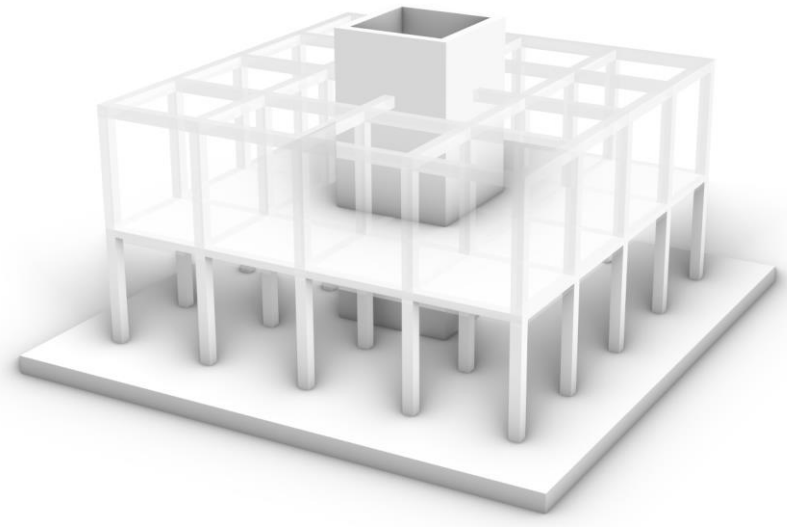


E4. Sistema de núcleos de concreto sobre un sistema aporticado en el primer nivel

Esta estrategia aprovecha la eficiencia del concreto aplicado en la cimentación y los núcleos de circulación la cual proporciona estabilidad combinada con las propiedades estructurales de la madera laminada encolada. Además, este es un sistema común que se encontró en las dos primeras fases de análisis, por lo que la estrategia consiste en utilizar el concreto para la cimentación de apoyo en el primer nivel, así como la construcción de los núcleos de circulación y servicios. Estos núcleos se conectarán a las losas de madera contralaminada mediante anclajes de acero, mientras que el resto de la estructura se compondrá de columnas de madera laminada encolada.

Figura 16

Esquema estrategia 4

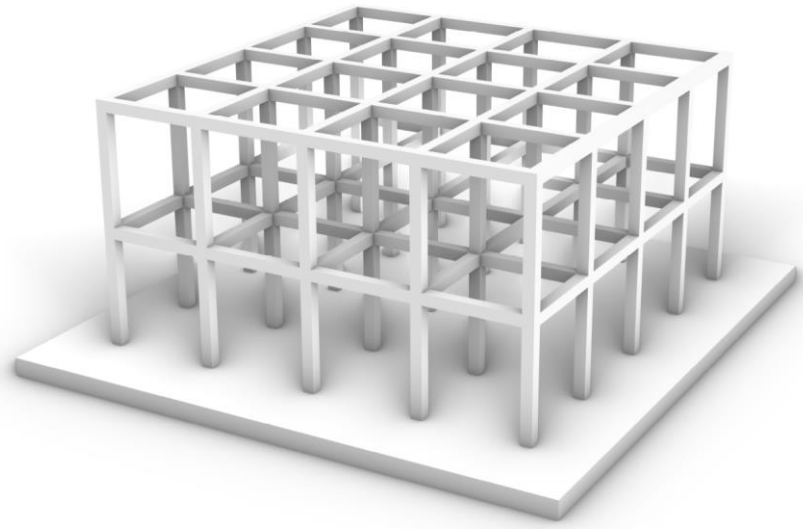


E5. Sistema aporticado como estructura principal

Esta estrategia tiene como objetivo permitir la construcción de edificaciones de mayor altura, ya que toda su estructura estará compuesta por un sistema aporticado, la cual ofrece resistencia y estabilidad necesarias. Sin embargo, se considerarán losas de concreto en los últimos niveles para la compensación del peso del edificio. Las losas restantes estarán compuestas con madera contralaminada unidas a la estructura principal mediante anclajes de acero. Este mismo material se utilizará para la tabiquería, ofreciendo flexibilidad y eficiencia en la construcción.

Figura 17

Esquema estrategia 5



Estas estrategias, ofrecen resistencia y flexibilidad ya que al usar estructuras de Glulam y CLT, combinadas con sistemas aporticados de concreto en los primeros niveles, presentan una resistencia y estabilidad sólidas, lo que garantiza la seguridad de los edificios frente a cargas y fuerzas externas. Además, permite tener una flexibilidad de diseño, ya que mantiene una amplia variedad de opciones arquitectónicas y estéticas, brindando flexibilidad en el diseño y adaptación a diferentes necesidades y preferencias. Sin embargo, es importante mencionar que las estrategias propuestas pueden tener sus variantes si las condiciones del lugar y el profesional a cargo lo considera necesario.

Conclusiones

En conclusión, la investigación ha demostrado los distintos niveles de huella ecológica de los tres materiales analizados y la alternativa proporcionada por un material de base biológica. Además, resalta el alcance que tiene este tema en términos de literatura en diferentes países. Esto demuestra la eficiencia medioambiental de la madera, en comparación con materiales como el concreto y acero, ya que su producción y transformación requiere menos energía y genera menos emisiones de Co2.

A partir de ello, el planteamiento de estrategias puede adaptarse al contexto geográfico de la ciudad objeto de estudio, ya que se basan en la implementación de elementos y sistemas constructivos en madera, tales como columnas, vigas y losas de madera laminada encolada o madera contralaminada. Además, se propone la incorporación de tabiquería interior mediante paneles prefabricados en madera considerando diversos sistemas de aislamiento y protección. Cabe destacar que las estrategias planteadas mantienen el uso del concreto en elementos específicos dentro de una edificación, ya sea como cimentación o la construcción del primer nivel con una estructura de pórticos de concreto, lo cierto es que hoy en día no existe otro material que pueda ser utilizado como cimentación de un edificio. No obstante, los beneficios que ofrecen los diferentes sistemas propuestos son significativos tanto en sostenibilidad, por el uso de la madera como material principal en las estructuras lo cual es una alternativa sostenible al reducir la huella ecológica y promover el uso de recursos renovables. Además, manteniendo la combinación de los dos materiales mencionados, las emisiones asociadas al concreto son mínimas debido a su aplicación selectiva, lo que contribuye significativamente a reducir la huella ecológica durante la fase de construcción.

Por último, la necesidad de contrarrestar el cambio climático hace que los especialistas cumplan una misión fundamental en el avance de nuevas técnicas constructivas con materiales de base biológica y de bajo impacto. En ese sentido, la reducción de emisiones de CO2 durante la fase de construcción de un edificio es un tema crítico que requiere una atención especial. Como se ha demostrado, existen diversas estrategias y tecnologías que pueden ayudar a reducir este problema mediante el uso de la madera, ya que es un material altamente eficiente y sostenible, y su uso puede contribuir a la mitigación del cambio climático

Recomendaciones

Considerando que la investigación se enfocó en la fase de construcción del análisis del ciclo de vida, se recomienda a los futuros investigadores considerar otras fases del ACV para complementar esta investigación y generar nuevas estrategias que ayuden a reducir el impacto ambiental generado en el sector de la construcción de edificios.

Se sugiere realizar estudios comparativos sobre la viabilidad de sistemas constructivos en madera de edificaciones en altura ubicadas en Latinoamérica.

Referencias

Abouhamad, M., & Abu-Hamd, M. (2020). Life Cycle Environmental Assessment of Light Steel Framed Buildings with Cement-Based Walls and Floors. Sustainability, 12(24), 10686. https://doi.org/10.3390/su122410686

Arreaza Rubín, H. (2012, 17 de julio). Estudio del impacto ambiental de la madera como material de construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas (Tesis doctoral). UPC, D. C. A http://hdl.handle.net/2117/94728

Chen, C. X., Pierobon, F., Jones, S., Maples, I., Gong, Y., & Ganguly, I. (2021). Comparative Life Cycle Assessment of Mass Timber and Concrete Residential Buildings: A Case Study in China. Sustainability, 14(1), 144. https://doi.org/10.3390/su14010144

Chen, Z., Gu, H., Bergman, R., & Liang, S. (2020). Comparative Life-Cycle Assessment of a High-Rise Mass Timber Building with an Equivalent Reinforced Concrete Alternative Using the Athena Impact Estimator for Buildings. Sustainability, 12(11), 4708. MDPI AG. Retrieved from http://dx.doi.org/10.3390/su12114708

Churkina, G., & Organschi, A. (2022). ¿Una transición a la construcción de madera enfriará el clima? Sostenibilidad, 14(7), 4271. MDPI AG. Obtenido de http://dx.doi.org/10.3390/su14074271

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, CPO (2020). Los edificios como sumidero global de carbono. Nat Sustain 3, 269–276. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4

Douglas, T., Ding, D. (2018). Comparing the performance of brick and timber in residential buildings – The case of Australia. Energy and Buildings. (159.136-147). https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.094

Giama E., Papadopoulos A.M., (2015). Assessment tools for the environmental evaluation of concrete, plaster and brick elements production, Journal of Cleaner Production 99, 75-85. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.006.

Grajales, T. (2000). Tipos de investigación. On line) (27/03/2.000). Revisado el 14 de julio del 2022

Green, M., & Taggart, J. (2020). Tall wood buildings: Design, construction and performance. Birkhäuser.

Hamadyk, E., Amado, M., & De Brito, J. (2020). Use of timber for the sustainable city growth and its role in the climate change. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 410(1) doi:10.1088/1755-1315/410/1/012034 Retrieved from www.scopus.com

Henrik H., (2019). Wooden buildings as carbon storages – Mitigation or oration?. Wood Material Science & Engineering, 14:5, 291-297, https://doi.org/10.1080/17480272.2019.1635205

Hermann K., Stefan K., y Stefan Winter., (2018). Manual of multi-Storey: timber construction.

Hernández R., Fernández C., Baptista P., (2014). Metodología de la investigación, 6, Recuperado de: https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008

INEI, (2018). Lambayeque: Resultados definitivos de los censos nacionales 2017. Recuperado el 21 de junio del 2023 de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1560/14TOMO_06.pdf

Iqbal, A. (2021). Developments in tall wood and hybrid buildings and environmental impacts. Sustainability, 13(21), 11881. https://doi.org/10.3390/su132111881

Jussila, J., Nagy, E., Lähtinen, K., Hurmekoski, E., Häyrinen, L., Mark-Herbert, C., Toppinen, A. (2022). Wooden multi-storey construction market development – systematic literature review within a global scope with insights on the nordic region. Silva Fennica, 56(1) doi:10.14214/sf.10609

Kaufmann, H., Krötsch, S. & Winter, S. (2018). Manual of Multistorey Timber Construction. München: DETAIL. https://doi.org/10.11129/9783955533953

Lee, J., Tae, S., & Kim, R. (2018). A study on the analysis of CO2 emissions of apartment housing in the construction process. Sustainability, 10(2), 365. https://doi.org/10.3390/su10020365

Li, H., Deng, Q., Zhang, J., Xia, B., & Skitmore, M. (2019). Assessing the life cycle CO2 emissions of reinforced concrete structures: Four cases from China. Journal of Cleaner Production, 210, 1496–1506. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.102

Michael G. y Jim Tagart., (2020). Tall Wood buildings design, construction and performance.

Michael G., (2012). The case for tall wood buildings: How mas timber offers a safe, economical, and environmental friendly alternative for tall buildings structures

Miller, S. A., Van Roijen, E., Cunningham, P. R., & Kim, A. (2021). Opportunities and challenges for engineering construction materials as carbon sinks. RILEM Technical Letters, 6, 105-118. doi:10.21809/RILEMTECHLETT.2021.146

Oladazimi, A., Mansour, S., & Hosseinijou, S. (2020). Comparative Life Cycle Assessment of Steel and Concrete Construction Frames: A Case Study of Two Residential Buildings in Iran. Buildings, 10(3), 54. https://doi.org/10.3390/buildings10030054

Salvadori, V. (2017). The development of a tall wood building. Politécnico di Milano. Recuperado el 5 de julio del 2021 de: https://wef.infor.cl/fortalecimiento/fortalecimiento.html#bibliografia.html

Sánchez González, Juan Carlos (2016). Construcción modular ligera energéticamente eficiente. Tesis (Doctoral), E.T.S. Arquitectura (UPM). https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.40342.

Sarmiento Ocampo, J. (2017). Vivienda industrializada: antecedentes en el mundo y propuesta al déficit de vivienda social en Colombia. Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo, 10(20), 79–96. https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu10-20.viam

UBC Sustainability. (2016). Brock commons tallwood house: design an preconstruction overview. Recuperado el 21 de junio del 2023 de: https://www.naturallywood.com/wp-content/uploads/brock-commons-design-preconstruction-overview_case-study_naturallywood.pdf

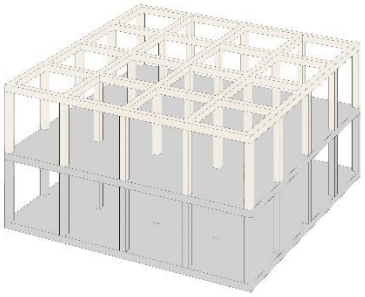
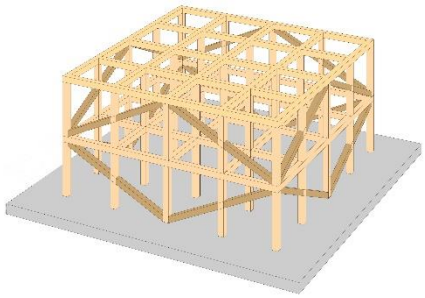
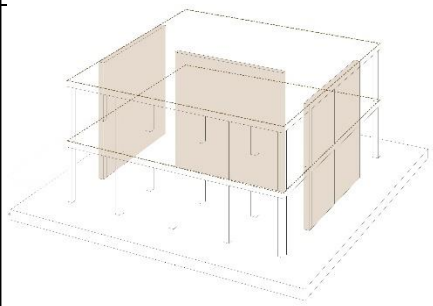
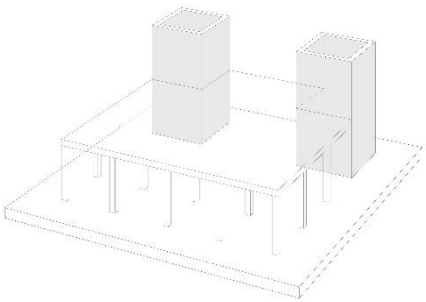
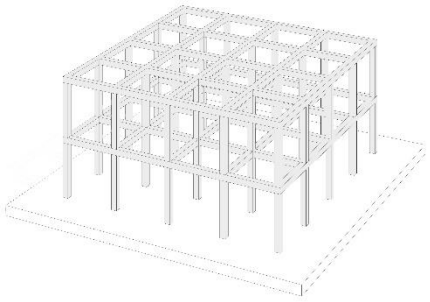
Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchí, A. (2010). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. Informes De La Construcción, 62(517), 37–51. https://doi.org/10.3989/ic.09.067

Wood construction, & Kerto LVL. (2019). Mjösa Tower - building higher with Kerto LVL. Metsa. https://www.metsagroup.com/metsawood/news-and-publications/references/mjosa-tower-building-higher-with-kerto/

Younis, A., & Dodoo, A. (2022). Cross-laminated timber for building construction: A life-cycle-assessment overview. Journal of Building Engineering, 52, 104482. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104482

Anexos

Anexo 1: Cuadro de estrategias

CUADRO DE ESTRATEGIAS CONSTRUCTIVAS PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE CO2 MEDIANTE EL USO DE LA MADERA		
ESTRATEGIA	**ESQUEMA**	**REFERENCIA**
Construcción con madera sobre sistema aporticado en el primer nivel		- Brock Commons Tall Wood House - The Treet - Centro Cultural Sara
Sistema de arriostramiento sobre plataforma de concreto		- The Treet - The Mojostarnet
Sistema de muros de carga en madera laminada encolada sobre plataforma de concreto		- Stadthaus - Centro Cultural Sara
Sistema de núcleos de circulación en concreto sobre un sistema aporticado en el primer nivel		- Brock Commons Tall Wood House - The Treet - Hoho Wien
Sistema aporticado como estructura principal		- Hoho Wien

Anexo 2: Cuadro de coherencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA DE ARQUITECTURA

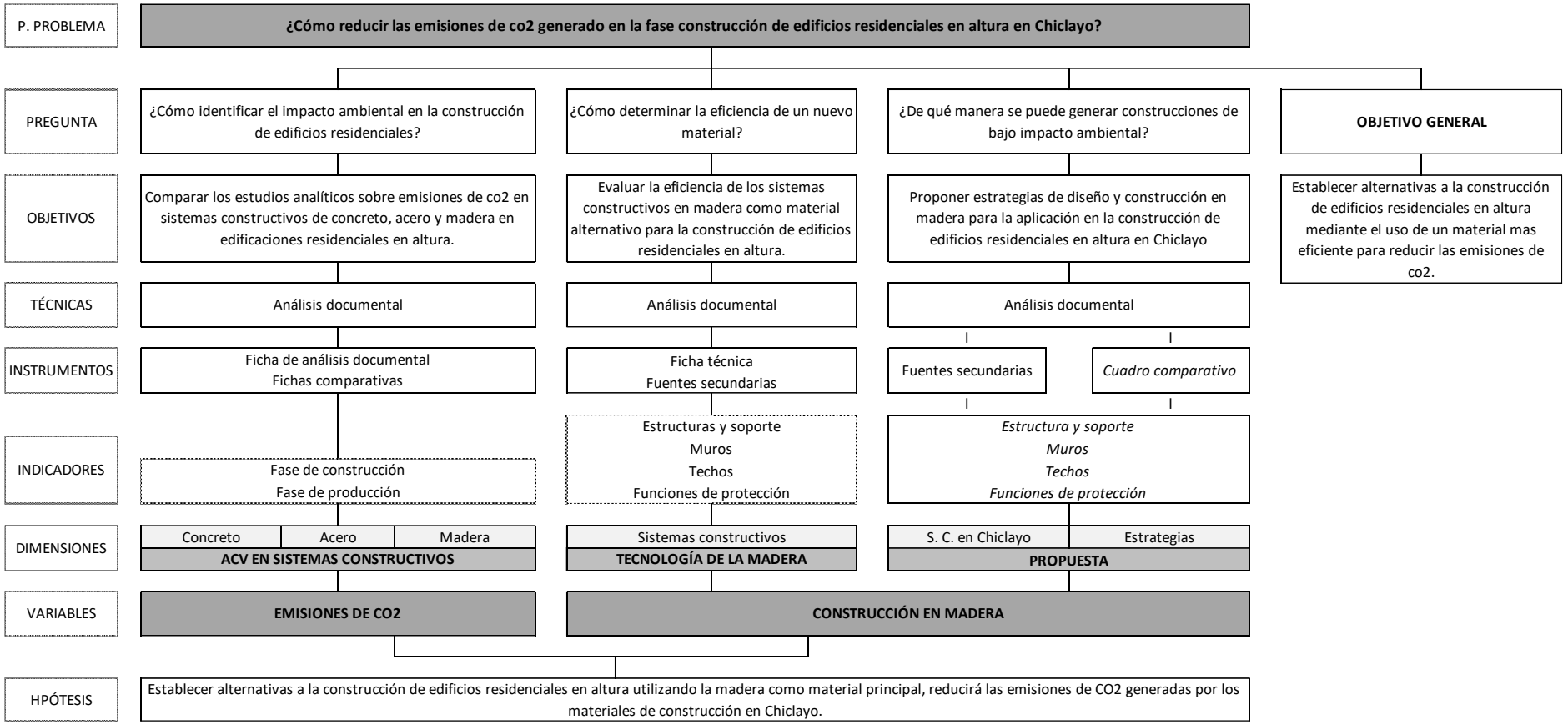
SEMINARIO DE TESIS I
Arq. Raúl Galvez Tirado

Nombre y apellidos *Dilmer Gonzales Curinambe*

Título de trabajo de investigación	LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE CO2 EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN ALTURA EN CHICLAYO
Línea de investigación	CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES CON ÉNFASIS EN INFRAESTRUCTURA
Campo de investigación OCDE	INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
Objetivo desarrollo ONU	CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES
Objeto de estudio	CONSTRUCCIÓN EN MADERA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN ALTURA

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN relevantes, ligadas a objetivos específicos	**PREGUNTAS DE INVESTIGACIONES** relevantes, ligadas a objetivos específicos		**HIPÓTESIS -** Posible respuesta a pregunta de investigación	**OBJETIVO GENERAL** Debe tener las siguientes caracteristicas: Objetivo = verbo en infinitivo + Enunciado 1 + Enunciado 2 Ejm: Describrir, Analizar, Comparar + El qué + Responder al para qué	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y LOGROS ASOCIADOS** Debe tener las siguientes caracteristicas: Objetivo = verbo en infinitivo + Enunciado 1 + Enunciado 2 Ejm: Describrir, Analizar, Comparar + El qué + Responder al para qué		**TÉCNICAS**	**INSTRUMENTOS**
¿Cómo reducir las emisiones de co2 generado en la fase construcción de edificios residenciales en altura en Chiclayo?	P.E. 1	¿Cómo identificar el impacto ambiental en la construcción de edificios residenciales?	Establecer alternativas a la construcción de edificios residenciales en altura utilizando la madera como material principal, reducirá las emisiones de CO2 generadas por los materiales de construcción en Chiclayo.	Establecer alternativas a la construcción de edificios residenciales en altura mediante el uso de un material mas eficiente para reducir las emisiones de co2.	O.E. 1	**Comparar** los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura.	Análisis de documentos	Fichas bibliográficas Fichas de comparación
	P.E. 2	¿Cómo determinar la eficiencia de un nuevo material?			O.E. 2	**Evaluar** la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura.	Análisis de documentos	Fuentes secundarias
	P.E. 3	¿De qué manera se puede generar construcciones de bajo impacto ambiental?			O.E. 3	**Proponer** estrategias de diseño y construcción en madera para la aplicación en la construcción de edificios residenciales en altura en Chiclayo.	Análisis de documentos	Fuentes secundarias

Anexo 3: Matriz de consistencia



Anexo 4: Desarrollo de variables

TÍTULO	VARIABLE	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES	INDICES	INSTRUMENTO
LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA COMO ALTERNATIVA PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE CO2 EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN ALTURA EN CHICLAYO	VARIABLE DEPENDIENTE: Emisiones de Co2	ACV en sistemas constructivos	Concreto	Fase de construcción	*Transporte de materiales al sitio de construcción*	Fichas de análisis documental, Ficha comparativa
					Consumo energético de la construcción	
			Acero	Fase de construcción	*Transporte de materiales al sitio de construcción*	
					Consumo energético de la construcción	
			Madera	Fase de construcción	*Transporte de materiales al sitio de construcción*	
					Consumo energético de la construcción	
	VARIABLE INDEPENDIENTE: Construcción en madera	Tecnología de la madera	Sistemas constructivos	Estructuras y soporte	*Entramado pesado*	Ficha técnica Imágenes
					Entramado ligero	
					Sistemas combinados	
					Arriostramiento	
					Estructuras pretensadas	
				Muros	*Paneles de madera laminada*	
					Muros de CLT	
					Muros de LVL	
				Techos	*Techos de madera laminada*	
					Techos de vigas	
					Techos de caja	
					Techos de CLT	
					Techos de LVL	
				Funciones de protección	*Protección contra el fuego*	
					Protección contra la humedad	
					Protección acústica	
					Conservación de la madera	
					Aislamiento térmico	
		Propuesta	Sistemas constructivos en Chiclayo	Estructuras y soporte		Fuentes secundarias
				Muros		
				Techos		
				Funciones de protección		
			Estrategias	Estructuras y soporte		Cuadro Comparativo
				Muros		
				Techos		
				Funciones de protección		

Anexo 5: Cuadro de búsqueda sistemática de literatura objetivo 1

17/10/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("concrete buildings") AND TITLE-ABS-KEY ("life cycle analysis"))	80	ARTÍCULO	https://www.	Una evaluación del ciclo de vida de un edificio de madera en masa de baja energía y una alternativa convencional de hormigón en Chile central
				ARTÍCULO	https://www.	Estudio comparativo sobre evaluación del ciclo de vida y huella de carbono de edificios de apartamentos híbridos, de hormigón y de madera en Finlandia
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación comparativa del ciclo de vida de cuatro edificios en Groenlandia
				ARTÍCULO	https://www.	Un estudio sobre el análisis de las emisiones de CO 2 de la vivienda de departamentos en el proceso de construcción
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación del ciclo de vida ambiental y análisis del costo del ciclo de vida de un edificio de madera masiva de gran altura: un estudio de caso en el noroeste del Pacífico de los Estados Unidos
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación de la madera contralaminada (CLT) como material alternativo para edificios residenciales de mediana altura en regiones frías de China: un enfoque de evaluación del ciclo de vida
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación del ciclo de vida y medidas de control de las emisiones de carbono de edificios típicos en China
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación del ciclo de vida del CO 2 en estructuras de hormigón armado con hormigón de alta resistencia
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación del ciclo de vida de un edificio residencial en Egipto un estudio de caso
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación del ciclo de vida CO2emisiones de estructuras de hormigón armado: cuatro casos de China
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación del ciclo de vida (LCA) de la madera contralaminada (CLT) producida en el oeste de Washington: el papel de la logística y la combinación de especies de madera
17/10/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("Steel buildings") AND TITLE-ABS-KEY ("life cycle analysis"))	12	ARTÍCULO	https://www.	Evaluación Ambiental del Ciclo de Vida de Edificios con Estructura de Acero Liviano con Paredes y Pisos a Base de Cemento
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación comparativa del ciclo de vida de los marcos de construcción de acero y hormigón: un estudio de caso de dos edificios residenciales en Irán
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación del ciclo de vida de la construcción masiva de madera: una revisión
				ARTÍCULO	https://www.	Análisis del Ciclo de Vida y Optimización de un Edificio de Madera
17/10/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("timber buildings") AND TITLE-ABS-KEY ("life cycle analysis"))	22	ARTÍCULO	https://www.	Metodología de evaluación del ciclo de vida de la construcción masiva de madera para los estudios de casos regionales de EE. UU.
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación comparativa del ciclo de vida de edificios residenciales de hormigón y madera maciza: un estudio de caso en China
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación comparativa del ciclo de vida de un edificio de madera maciza de gran altura con una alternativa de hormigón armado equivalente utilizando el estimador de impacto de Athena para edificios
				ARTÍCULO	https://www.	Evaluación de la madera contralaminada (CLT) como material alternativo para edificios residenciales de mediana altura en regiones frías de China: un enfoque de evaluación del ciclo de vida

Anexo 6: Criterios de selección de estudios de caso

ALCANCE	MADERA	CONCRETO	ACERO
BASE DE DATOS	SCOPUS		
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	"Timber Buildings" "Life Cycle Analysis"	"Timber Buildings" "Life Cycle Analysis"	"Steel Buildings" "Life Cycle Analysis"
NÚMERO DE ARTÍCULOS	22	80	12
FILTRO 1 Artículos seleccionados	Revisión general: resúmen, palabas clave, metodología		
	4	11	4
FILTRO 2 Artículos seleccionados	Procesamiento de datos		
	2	**2**	**2**

Anexo 7: Ficha de análisis 1 – Concreto

OE1	Comparar los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura		**F01-C**
Datos de fuente secundaria			
Título:	Evaluación de las emisiones de CO2 durante el ciclo de vida de las estructuras de hormigón armado: Cuatro casos de China		
Autor(es):	Hui Li, Quanxue Deng, Jingxiao Zhang, Bo Xia y Martin Skitmore	**Fecha de publicación**	14/11/2018

Descripción general
El estudio plantea un analisis de emisiones de CO2 a partir de la metodología de ACV y un análisis cuantitativo en el software SimaPro. Para realizar el análisis se estudian 4 edificios diferentes: Residencia, Hospital, Comercio y Escuela. En esta ficha se analizará los datos relacionados al analisis de ciclo de vida durante la fase de construción del edificio residencial, cuyas características son las siguientes: área total de construcción de 86059 m 2 , de los cuales 24880 m 2 son subterráneos; y 55569 m 2 y 5610 m 2 sobre rasante para uso residencial y comercial respectivamente.

Datos sobre metodología aplicada					
Índice		Materiales y procesos relacionados	Cantidad de energía utilizada	Unidad de medida	Descripción
Fase de construcción	Transporte de materiales al sitio de construcción	Acero Block Mortero de cemento Pintado	613.43 31.29 44.44 0.05	$kgCO_2eq$	Según SimaPro, el edificio residencial produjo el 42,1% de las emisiones ambientales durante la construcción
	Consumo energético de la construcción	Consumo de energía (electricidad) Transporte Concreto	2.04 10.11 544.37		La emisión de CO2 durante las fases de construcción es de 1246kg CO2 eq, lo que supone el 60,5% de las emisiones del ciclo de vida del edificio.
		Total	**1246**	**kgCO2eq**	

Variable	Emisiones de Co2	**Dimensión**	ACV en sistemas constructivos	**Sub Dimensión**	Concreto

Anexo 8: Ficha de análisis 2 – Concreto

OE1	Comparar los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura	F02-C

Datos de fuente secundaria			
Título:	Un estudio sobre el análisis de las emisiones de CO2 de las viviendas de apartamentos en el proceso de construcción		
Autor(es):	Jonggeon Lee ,Sungho Tae, y Kim Rakhyun	**Fecha de publicación**	31/01/2018

Descripción general
El estudio se enfoca en la etapa de construcción del ACV para garantizar la reducción y destión de las emisiones de Co2. Se elige 13 edificios de apartamentos de hormigón armado de 16 pisos cada uno, cuya area combinada es de 208,393 m2. Para realizar este análisis la etapa de ACV se dividió en etapa de transporte, construcción y eliminación.

Datos sobre metodología aplicada					
Índice		Materiales y procesos relacionados	Cantidad de energía utilizada	Unidad de medida	Descripción
Fase de construcción	Transporte de materiales al sitio de construcción	Etapa de transporte Fase de construcción Fase de eliminación	5.46 3.29 0.076	Kg Co2/m2	La etapa de trasnporte obtuvo un mayor indice de emisión de Co2, esto debido a la distancia entre el material y el sitio de construcción. Además, toda la fase representó el 73% de las emisiones totales.
	Consumo energético de la construcción				
		Total	**8.826**	**Kg Co2/m2**	

Variable	Emisiones de Co2	Dimensión	ACV en sistemas constructivos	Sub Dimensión	Concreto

Anexo 9: Ficha de análisis 3 – Acero

OE1	Comparar los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura	F03-A

Datos de fuente secundaria			
Título:	Evaluación medioambiental del ciclo de vida de edificios ligeros con estructura de acero y muros y suelos de cemento		
Autor(es):	Mona Abouhamad y Metwally Abu-Hamd	**Fecha de publicación**	21/12/2020

Descripción general
El estudio realiza un análisis de emisiones de CO2 y energía incorporada a partir de la metodología de ACV mediante el software Athena. Dicho análisis comprende un edificio en sistema CFS cuyas medidas son: 16x16 metros en planta y 5 niveles con una altura de 3.5 metros por nivel.

Datos sobre metodología aplicada					
Índice		Materiales y procesos relacionados	Cantidad de energía utilizada	Unidad de medida	Descripción
Fase de construcción	Transporte de materiales al sitio de construcción	Cimientos Paredes Columnas y vigas Techos Pisos	51.959 30.513 54.840 8.619 34.477	$kgCO_2eq/m2$	De acuerdo con la energía incorporada y emisiones de CO2, los resultados mostraron el 20% de aporte total del edificio, de la cual el 29% corresponde a los cimientos, mientras que el 30% corresponde al esqueleto del edificio. La parte restante se divide entre paredes (17%), pisos (19%) y techos (5%).
	Consumo energético de la construcción				
		Impacto ambiental por ACV	**180.41**	**kgCO2eq/m2**	

Variable	Emisiones de Co2	Dimensión	ACV en sistemas constructivos	Sub Dimensión	Acero

Anexo 10: Ficha de análisis 4 – Acero

OE1	Comparar los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura		F04-A
Datos de fuente secundaria			
Título:	Evaluación comparativa del ciclo de vida de estructuras de acero y hormigón: Estudio de caso de dos edificios residenciales en		
Autor(es):	Amir Oladazimi, Saeed Mansour, y Seyed Abbas Hosseinijou	**Fecha de publicación**	12/03/2020

Descripción general
Este estudio plantea un analisis del ciclo de vida mediante la utilización del software GaBi. Los límites del sistema planteado corresponden a evaluar la cantidad de contaminación causada en los dos marcos de construcción de edificios de varios pisos acero y hormigón. Sin embargo, en esta ficha se analizarán los datos correspondientes al edificio en acero, cuya area es de 4900 m2 con una latura de 7 pisos. Como punto importante dentro de la investigación, la fase de construcción se definió como el proceso de entrega de los materiales requeridos hasta el sitio de construcción, ya que el programa GaBi considera solo materiales y transporte, mas no operaciones civiles.

Datos sobre metodología aplicada					
Índice		Materiales y procesos relacionados	Cantidad de energía utilizada	Unidad de medida	Descripción
Fase de construcción	Transporte de materiales al sitio de construcción	Emisiones orgánicas Emisiones no orgánicas	4250 3100	T (Co2 eq)	Los resultados obtenidos en la investigación, corresponden a la reducción potencial del calentamiento global debido a las emisiones de Co2, la cual solo contribuye al 32.5 % de la reducción según los limites planteados en el estudio.
	Consumo energético de la construcción				
		Total	**5740**	**T (Co2 eq)**	

Variable	Emisiones de Co2	**Dimensión**	ACV en sistemas constructivos	**Sub Dimensión**	Acero

Anexo 11: Ficha de análisis 5 – Madera

OE1	Comparar los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura		F05-M
Datos de fuente secundaria			
Título:	Evaluación comparativa del ciclo de vida de edificios residenciales de madera maciza y hormigón: Un estudio de caso en China		
Autor(es):	hen, Francesca Pierobon, Susan Jones, Ian Maples, Yingchun Gong y Indronei	**Fecha de publicación**	23/12/2021

Descripción general
Este estudio utiliza un enfoque de evaluación del ciclo de vida (ACV) para comparar los impactos ambientales de un edificio de hormigón de referencia y un edificio de madera funcionalmente equivalente que utiliza madera laminada cruzada como material primario. No obstante, en esta ficha se analizarán los datos sobre ACV del edificio en madera contralaminada, considerando que el edificio tiene 8 niveles de altura con un area total de 3524 m2.

Datos sobre metodología aplicada					
Índice		Materiales y procesos utilizados	Cantidad de energía utilizada	Unidad de medida	Descripción
Fase de construcción	Transporte de materiales al sitio de construcción	CLT Concreto Tablero de yeso Hormigón de yeso Aislamiento Perno de metal Barra de refuerzo	18.29 2.634 0.07 4.56 0.02 0.42 0.11	kgCO2eq/m2	El dificio en madera (CLT) representa el 53% para la reducción de las emisiones de CO2.
	Consumo energético de la construcción				
		Total	**26.1**	**kgCO2eq/m2**	

Variable	Emisiones de Co2	**Dimensión**	ACV en sistemas constructivos	**Sub Dimensión**	Madera

Anexo 12: Ficha de análisis 6 – Madera

OE1	Comparar los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura	F06-M

Datos de fuente secundaria			
Título:	Evaluación comparativa del ciclo de vida de un edificio alto de madera maciza con una alternativa equivalente de hormigón armado		
Autor(es):	Zhongjia Chen, Hongmei Gu, Richard D. Bergman, y Shaobo Liang	**Fecha de publicación**	9/06/2020

Descripción general
La investigación plantea un estudio sobre las emisiones de Co2 mediante la utilización del software Athena ya que proporciona un inventario del ciclo de vida en todas sus fases. El limite de la investigación está planteada en 4 etapas del ACV sin embargo, en esta ficha se analizarán los datos de la etapa de construcción (A4-A5), considerando que el edificio estudiado es de Madera Maciza o "Mass Timber" y presenta 12 pisos con una superficie construida de 8360 m2, con un uso mixto.

Datos sobre metodología aplicada					
Índice		Materiales y procesos utilizados	Cantidad de energía utilizada	Unidad de medida	Descripción
Fase de construcción	Transporte de materiales al sitio de construcción	Etapa de transporte	1.55×10^4	Kg Co2 eq	Los resultados muestran las emisiones de GEI correspondiente a la fase de construcción en sus dos etapas, la cual representa el 11.7% del total. Esto se debe a que el edificio aun no ha sido construido, por no se han considerado algunos datos correspondientes al análisis.
	Consumo energético de la construcción	Etapa de construcción	5.09×10^4		
		Total	**2.06×10^5**	**Kg Co2 eq**	

Variable	Emisiones de Co2	Dimensión	ACV en sistemas constructivos	Sub Dimensión	Madera

Anexo 13: Ficha comparativa

OE1	Comparar los estudios analíticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura	F07-CE

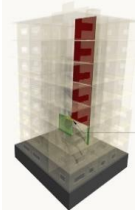
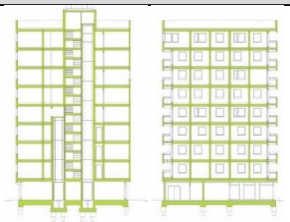
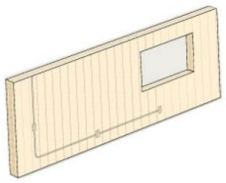
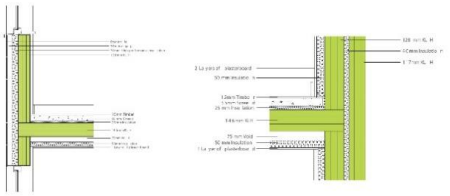
Estudios a comparar				
CRITERIOS	**HUELLA ECOLÓGICA**			**OBSERVACIONES**
CÓDIGO	**CANTIDAD**	**% EMISIÓN**	**% APORTE**	
F01-C	1246 kgCO2eq	**60.5%**	39.5%	Dentro del estudio se utilizó el software SimaPro, que arrojó un aporte de 42.1%, sin embargo se optó
F02-C	8.826 Kg Co2/m2	**73.0%**	27.0%	Dentro de los puntos de la fase, la etapa de transporte tuvo mayor índice de emisión, debido a la distancia entre
F03-A	180.41 kgCO2eq/m2	80.0%	**20.0%**	
F04-A	5740000 kgCO2eq	67.5%	**32.5%**	La fase de construcción se definió como el proceso de entrega de los materiales requeridos hasta el sitio de
F05-M	26.1 kgCO2eq/m2	47.0%	**53.0%**	El estudio parte de un edificio de madera combinado con concreto
F06-M	206000 Kg Co2 eq	**11.7%**	88.3%	Se planteó un caso hipotético dentro del estudio, ya que el edificio aun no se contruye

Variable	Emisiones de Co2	Dimensión	ACV en sistemas constructivos

Anexo 14: Ficha de estudio de caso - objetivo 2

OE2	Evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura	F08-E

Datos de estudio de caso			
Edificio:	Stadthaus		
Ubicación:	Londres - Inglaterra	**N° de Niveles:**	9
Año:	2009	**Altura:**	30 m
Descripción general:			
El edificio presenta un uso residencial con una superficie total de 2600 m2. El primer nivel está construido en concreto sobre la que se montaron los 8 niveles restantes. Está construido en su mayoría con muros de carga y paneles de madera contralaminada, presentando una ventaja en el material ya que funciona como un contenedor de dióxido de carbono.			

Sistema constructivo aplicado			Material Gráfico
Estructuras y soporte			 
Entramado pesado			
Entramado ligero			
Sistemas combinados	■		
Arriostramiento			
Estructuras pretensadas			
Muros			
Paneles de madera laminada	■	Glulam	
Muros de CLT			
Muros de LVL			
Losas / Techos			
Losas de madera laminada			
Losas de vigas			
Losas de caja			
Losas de CLT	■		
Losas de LVL			
Funciones de Protección			
Protección contra el fuego	■		
Protección contra la humedad	■		
Protección acústica	■		
Conservación de la madera	■		
Aislamiento térmico	■		

Variable:	Construcción en madera	Dimensión:	Tecnología en madera	Sub-dimensión:	Sistemas constructivos

Anexo 15: Ficha de estudio de caso – Objetivo 2

OE2	Evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura	F09-E

Datos de estudio de caso			
Edificio:	Brock Commons Tall Wood House		
Ubicación:	Vancouver - Canadá	**N° de Niveles:**	18
Año:	2017	**Altura:**	53 m
Descripción general:			
El edificio presenta un uso híbrido con alrededor de 15000m2 de superficie total, incluye alojamiento para 404 estudiantes comprende una combinación de unidades de estudio y de un dormitorio, espacios de estudio y sociales, y un salón para estudiantes en el piso superior, de los 18 niveles el primero esta construido en concreto sobre la cual se montaron los niveles restantes.			

Sistema constructivo aplicado			Material Gráfico
Estructuras y soporte			
Entramado pesado			
Entramado ligero			
Sistemas combinados	■	Hormigón	
Arriostramiento			
Estructuras pretensadas			
Columnas de madera laminada	■	26x26 cm	
Muros			
Paneles de madera laminada	■		
Muros de CLT			
Muros de LVL			
Paneles de acero con revestimiento laminado de alta presión (HPL)	■	En toda la fachada	
Losas / Techos			
Losas de madera laminada			
Losas de vigas			
Losas de caja			
Losas de CLT	■		
Losas de LVL			
Funciones de Protección			
Protección contra el fuego	■	Placas de yes	
Protección contra la humedad	■		
Protección acústica	■		
Conservación de la madera	■		
Aislamiento térmico	■		

Variable:	Construcción en madera	Dimensión:	Tecnología en madera	Sub-dimensión:	Sistemas constructivos

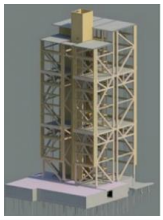
Anexo 16: Ficha de estudio de caso – Objetivo 2

OE2	Evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura	F10-E

Datos de estudio de caso			
Edificio:	The Treet		
Ubicación:	Bergen - Noruega	**N° de Niveles:**	14
Año:	2016	**Altura:**	49 m
Descripción general:			
El edificio plantea el uso de la madera a través de módulos prefabricados de CLT y Glulam, instalados sobre una base de hormigón. Estos se van apilando en cuatro pisos de altura, para ser anclados, soportados y reforzados por vigas de celosía de Glulam de 3m de altura, columnas y diagonales. Después de este nivel, hay un módulo prefabricado independiente con placas de hormigón armado tanto en la "losa y cubierta", necesarias para dar peso y evitar ser balanceadas en condiciones ventosas.			

Sistema constructivo aplicado		
Estructuras y soporte		
Entramado pesado	■	
Entramado ligero		
Sistemas combinados	■	
Arriostramiento	■	
Estructuras pretensadas		
Vigas de Glulam	■	
Muros		
Paneles de madera laminada	■	
Muros de CLT		
Muros de LVL		
Muros cortina	■	
Losas / Techos		
Losas de madera laminada		
Losas de vigas		
Losas de caja		
Losas de CLT	■	
Losas de LVL		
Placas de hormigón	■	
Funciones de Protección		
Protección contra el fuego	■	
Protección contra la humedad	■	
Protección acústica	■	
Conservación de la madera	■	
Aislamiento térmico	■	

Material Gráfico

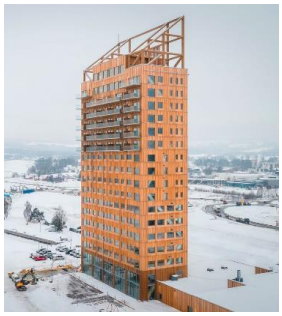


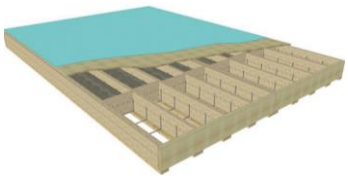
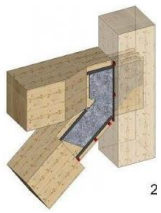
Variable:	Construcción en madera	Dimensión:	Tecnología en madera	Sub-dimensión:	Sistemas constructivos

Anexo 17: Ficha de estudio de caso – Objetivo 2

OE2	Evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura	F11-E

Datos de estudio de caso			
Edificio:	Mjostarnet		
Ubicación:	Hedmark - Noruega	**N° de Niveles:**	18
Año:	2019	**Altura:**	85.4 m
Descripción general:			
El edificio presenta un uso híbrido entre oficinas, vivienda, hotel un restaurante y una azotea común. La mayoría esta contruido con CLT y vigas de Glulam, se utilizó concreto para la cimentación y para los 7 pisos superiores debido a que mantiene estable el peso del edificio, además se utilizó acero para las fijaciones de las vigas.			



Sistema constructivo aplicado			Material Gráfico
Estructuras y soporte			
Entramado pesado	■	
Entramado ligero		
Sistemas combinados	■	
Arriostramiento	■	Glulam
Estructuras pretensadas		
Vigas de Glulam	■	
Muros			
Paneles de madera laminada		
Muros de CLT	■	
Muros de LVL		
Losas / Techos			
Losas de madera laminada		
Losas de vigas		
Losas de caja		
Losas de CLT	■	
Losas de LVL		
Funciones de Protección			
Protección contra el fuego	■	
Protección contra la humedad	■	
Protección acústica	■	
Conservación de la madera	■	
Aislamiento térmico	■	

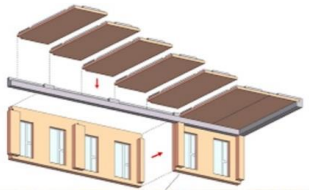
Variable:	Construcción en madera	Dimensión:	Tecnología en madera	Sub-dimensión:	Sistemas constructivos

Anexo 18: Ficha de estudio de caso – Objetivo 2

OE2	Evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura	F12-E

Datos de estudio de caso			
Edificio:	Hoho Wien		
Ubicación:	Vienna - Austria	**N° de Niveles:**	24
Año:	2019	**Altura:**	84 m
Descripción general:			
El edificio presenta una estructura combinada a partir de nucleos y vigas perimetrales de hormigón, lo demas está construido con paneles y columnas de CLT. Aproximadamente el 75 % del edificio es de madera. Además presenta un uso híbrido a partir de oficinas, apartamentos y restaurantes.			

Sistema constructivo aplicado			Material Gráfico
Estructuras y soporte			
Entramado pesado	■	CLT	
Entramado ligero			
Sistemas combinados	■	Hormigon	
Arriostramiento			
Estructuras pretensadas			
Viga perimetral	■	Hormigon	
Muros			
Paneles de madera laminada			
Muros de CLT	■		
Muros de LVL			
Muro de carga	■		
Losas / Techos			
Losas de madera laminada			
Losas de vigas			
Losas de caja			
Losas de CLT	■		
Losas de LVL			
Funciones de Protección			
Protección contra el fuego	■		
Protección contra la humedad	■		
Protección acústica	■		
Conservación de la madera	■		
Aislamiento térmico	■		



Variable:	Construcción en madera	Dimensión:	Tecnología en madera	Sub-dimensión:	Sistemas constructivos

Anexo 19: Ficha de estudio de caso – Objetivo 2

OE2	Evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura	F13-E

Datos de estudio de caso			
Edificio:	Centro Cultural Sara		
Ubicación:	Skelleftea - Suecia	**N° de Niveles:**	20
Año:	2020	**Altura:**	75 m

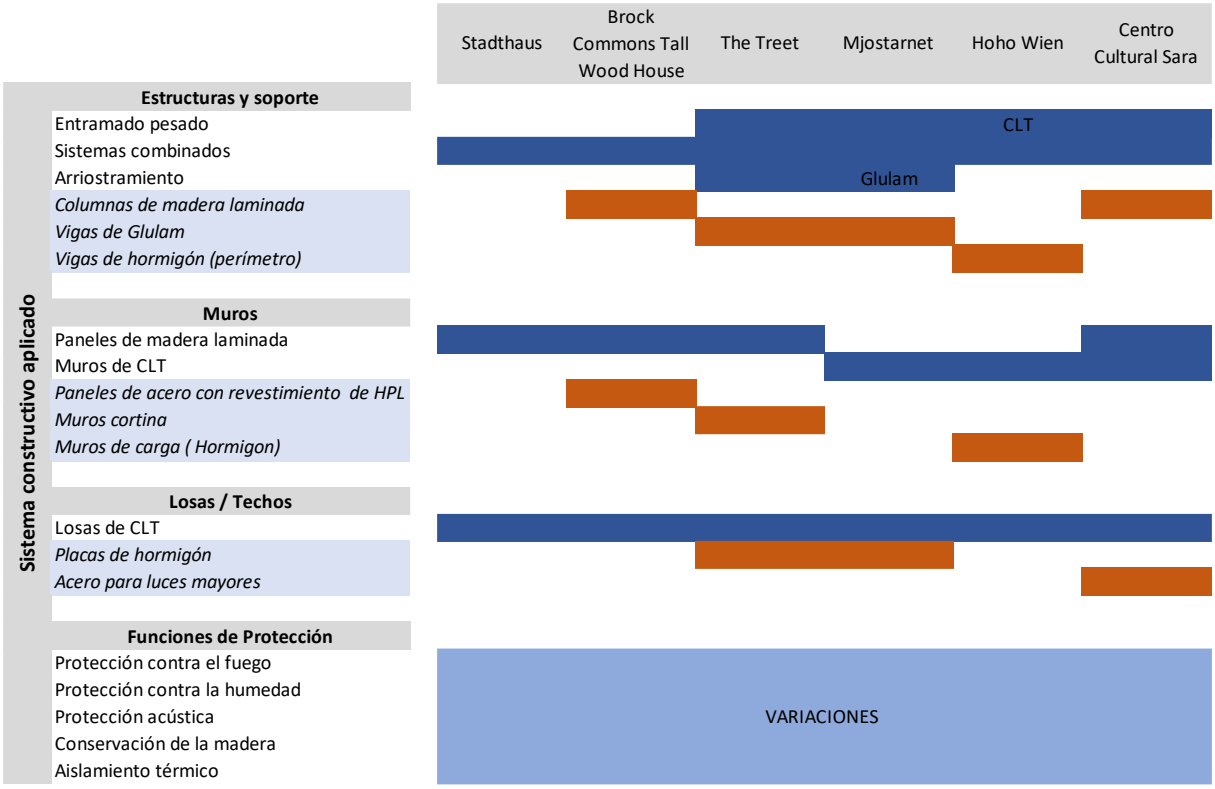
Descripción general:

El edificio incluye un teatro, una galería, una biblioteca, un museo y un hotel. Se util concreto para la cimentación y para los grandes espacios se diseñaron cerchas a medi donde la madera se combina con el acero. Para la torre se utilizaron módulos prefabri de CLT, mientras que para el centro cultural se utilizó Glulam y paredes de CLT.

Sistema constructivo aplicado			Material Gráfico
Estructuras y soporte			
Entramado pesado	■	Combina	
Entramado ligero		con	
Sistemas combinados	■	columna	
Arriostramiento		vigas de	
Estructuras pretensadas		glulam	
Muros			
Paneles de madera laminada	■	(Glulan	
Muros de CLT	■		
Muros de LVL			
Losas / Techos			
Losas de madera laminada			
Losas de vigas			
Losas de caja			
Losas de CLT	■		
Losas de LVL			
Acero para espacios abiertos	■		
Funciones de Protección			
Protección contra el fuego	■		
Protección contra la humedad	■		
Protección acústica	■		
Conservación de la madera	■		
Aislamiento térmico	■		

Variable:	Construcción en madera	Dimensión:	Tecnología en madera	Sub-dimensión:	Sistemas constructivos

Anexo 20: Interpolación de resultados – Objetivo 2



Anexo 21: Documentos de validación de instrumentos objetivo 1

USAT

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ARQUITECTURA

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA DE REVISIÓN DE DATOS

Título de la investigación: La construcción en madera como alternativa para reducir las emisiones de co2 en edificaciones residenciales en altura en Chiclayo

Autor de la investigación: Dilmer Gonzales Curinambe

Asesor de la investigación: José Carlos Arriaga Saavedra

Problema de la investigación: Contaminación por emisiones de CO2 generadas por los materiales de construcción en Chiclayo

Objetivo General de la investigación: Establecer alternativas a la construcción de edificios residenciales en altura mediante el uso de un material más eficiente para reducir las emisiones de co2

Objetivo Especifico de la investigación relacionada con el instrumento: Comparar los estudios analiticos sobre emisiones de co2 en sistemas constructivos de concreto, acero y madera en edificaciones residenciales en altura

Variable de estudio relacionada al instrumento: Emisiones de co2

Dimensión(es) de la variable de estudio relacionada al instrumento: ACV en sistemas constructivos

Indicador(es) de la dimensión de estudio relacionada al instrumento: Fase de producción, fase de construcción

EVALUACIÓN DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO POR EXPERTO O ESPECIALISTA

De acuerdo con los ítems antes mencionados, se les solicita en base a su experiencia y/o especialidad inferir en lo siguiente: ¿encuentra usted...

Relación del instrumento con la pregunta de investigación?		Relación del instrumento con el Objetivo General y el objetivo especifico?		Relación del problema con las variables y el instrumento?	
SI ✓	NO	SI ✓	NO	SI ✓	NO

VALORACIÓN DEL INSTRUMENTO:

PERTINENCIA		CLARIDAD		RELEVANCIA	
SI ✓	NO	SI ✓	NO	SI ✓	NO

Observaciones:

Opinión de aplicabilidad: Aplicable (✓) Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del evaluador: José Carlos Arriaga Saavedra

Grado académico del evaluador: Magister

Pertinencia: Si el ítem pertenece a la dimensión.
Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.
Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del contenido.

Anexo 22: Documento de validación de instrumentos – objetivo 2

USAT

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ARQUITECTURA

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA DE REVISIÓN DE DATOS

Título de la investigación: La construcción en madera como alternativa para reducir las emisiones de co2 en edificaciones residenciales en altura en Chiclayo

Autor de la investigación: Dilmer Gonzales Curinambe

Asesor de la investigación: José Carlos Arriaga Saavedra

Problema de la investigación: Contaminación por emisiones de CO2 generadas por los materiales de construcción en Chiclayo

Objetivo General de la investigación: Establecer alternativas a la construcción de edificios residenciales en altura mediante el uso de un material más eficiente para reducir las emisiones de co2

Objetivo Específico de la investigación relacionada con el instrumento: Evaluar la eficiencia de los sistemas constructivos en madera como material alternativo para la construcción de edificios residenciales en altura

Variable de estudio relacionada al instrumento: Construcción en madera

Dimensión(es) de la variable de estudio relacionada al instrumento: Tecnología en madera

Indicador(es) de la dimensión de estudio relacionada al instrumento: Estructuras de soporte, Muros, Techos, Funciones de protección

EVALUACIÓN DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO POR EXPERTO O ESPECIALISTA

De acuerdo con los ítems antes mencionados, se les solicita en base a su experiencia y/o especialidad inferir en lo siguiente: ¿encuentra usted...

Relación del instrumento con la pregunta de investigación?		Relación del instrumento con el Objetivo General y el objetivo específico?		Relación del problema con las variables y el instrumento?	
SI ✓	NO	SI ✓	NO	SI ✓	NO

VALORACIÓN DEL INSTRUMENTO:

PERTINENCIA		CLARIDAD		RELEVANCIA	
SI ✓	NO	SI ✓	NO	SI ✓	NO

Observaciones:

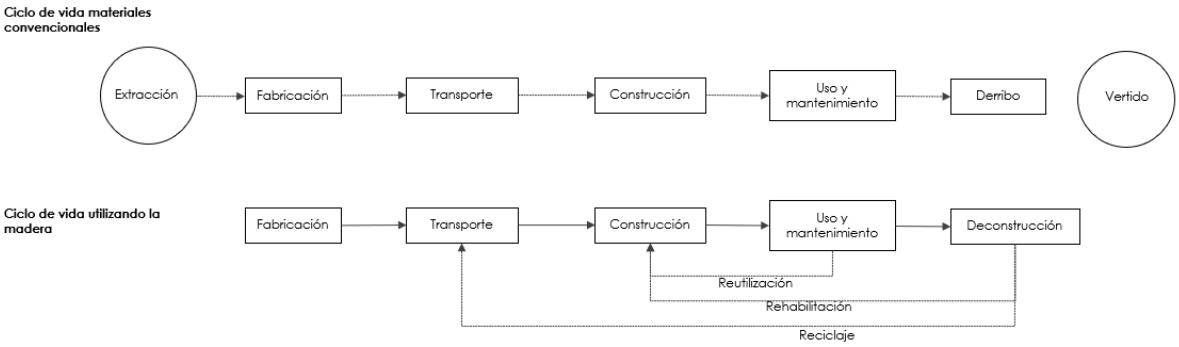
Opinión de aplicabilidad: Aplicable (✓) Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del evaluador: José Carlos Arriaga Saavedra

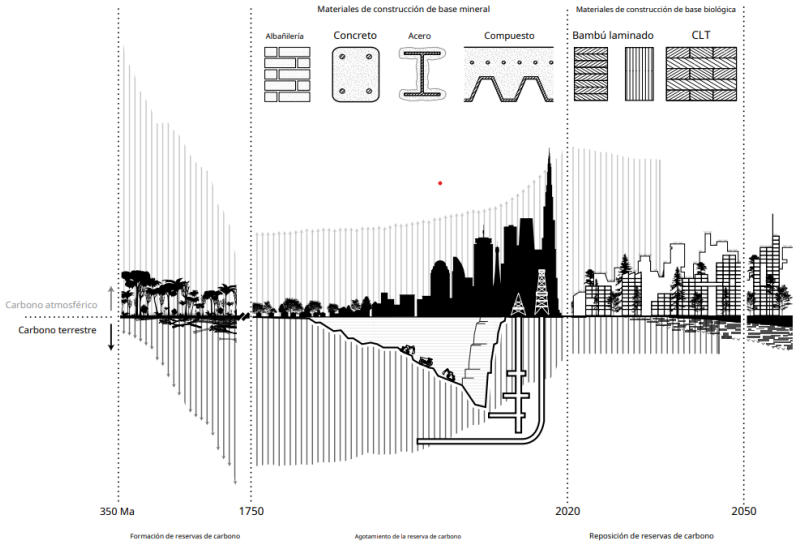
Grado académico del evaluador: Magister

Pertinencia: Si el ítem pertenece a la dimensión.
Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.
Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del contenido.

Anexo 23: Análisis del ciclo de vida (Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchí, A. 2010).



Anexo 24: Procesos responsables de la formación, el agotamiento y la reposición potencial del depósito de carbono terrestre y los cambios en el CO atmosférico2concentraciones a lo largo del tiempo. (Churkina, G., Organschi, A., Reyer, CPO 2020).



Anexo 25: Metodología sobre análisis de ciclo de vida (Lee, J., Tae, S., & Kim, R. 2018).

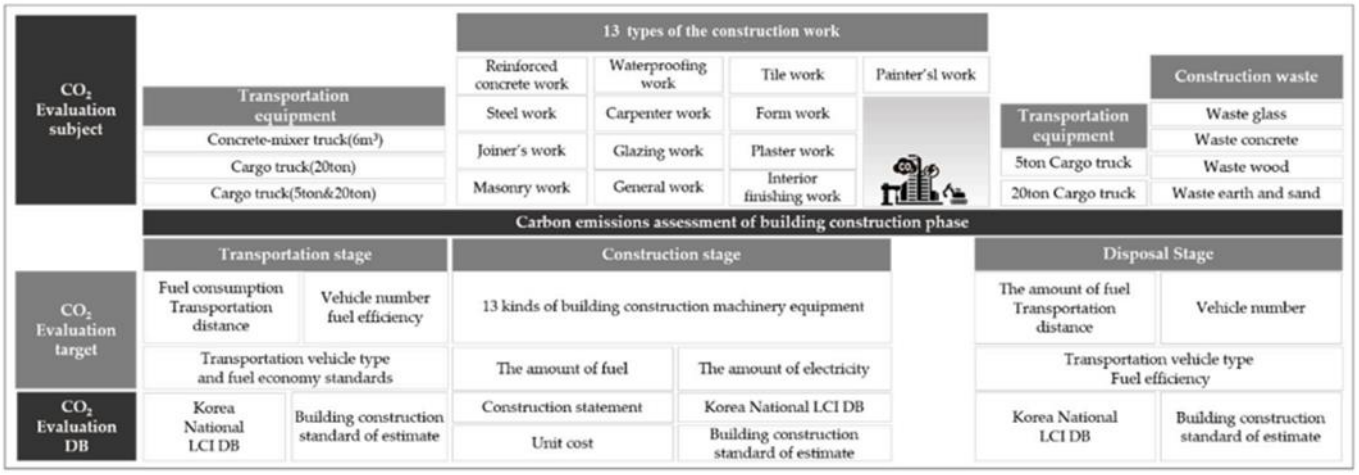


Figura 4.CO2método de evaluación de emisiones propuesto en el proceso de construcción.

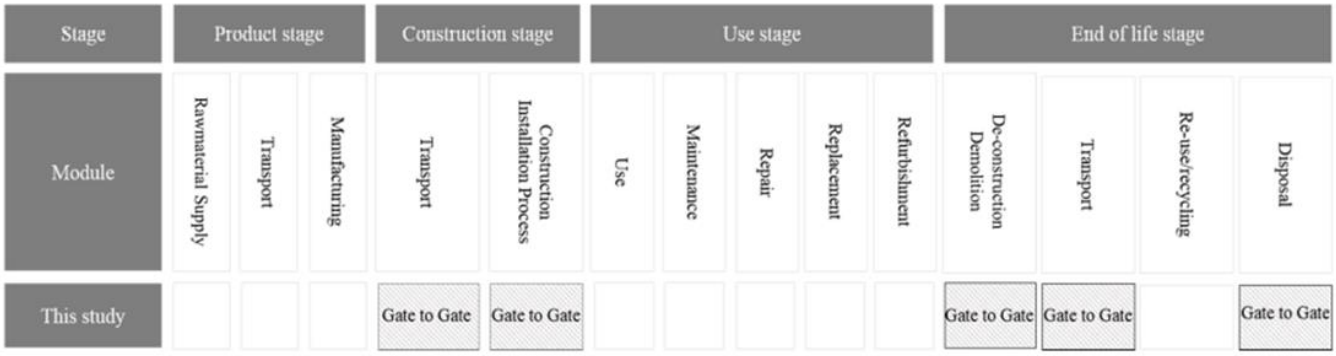


Figura 3. Etapas del ciclo de vida para la evaluación de edificios en ISO 21930.

Anexo 26: Bitácora de búsqueda

	MATERIAL BIBLIOGRÁFICO PARA TESIS									
	FECHA	MOTOR DE BÚSQUEDA	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	N° DE RESULTADO	TIPO DE DOCUMENTO	DIRECCIÓN URL	TÍTULO	PALABRAS CLAVE	PROBLEMÁTICA	OBJETIVOS
1	8/04/2022	Dialnet	*Impacto ambiental de materiales de construcción*	422	TESIS DOCTORA	https://dialnet.u	Estudio del impacto ambiental de **la madera como material de construcción de** viviendas plurifamiliares de varias plantas			OG. Estudiar de manera cuantitativa el impacto del uso de la madera en la construcción de viviendas plurifamiliares de varias plantas tomando en cuenta la disponobilidad del recurso en el tiempo, el impacto de su transformación en diversos productos y del empleo de tales productos den la construcción con la finalidad de aproximarnos a la optimización de la sostenibilidad del uso de la madera como material de construcción. OE1. Determinar la disponibilidad en el tiempo de la madera como material de construcción, tomando en cuenta los procesos silviculturales y la demanda de madera y sus derivados requerida para la construcción de viviendas comparada con la demanda de otras industrias. OE2. Determinar el impacto que produce la transformación de la madera en productos y el uso de estos en la construcción, tomando en cuenta las emisiones de CO2, la energía incorporada a los diferentes productos y el impacto asociado a la durabilidad y a la cantidad del material utilizado para construir. OE3. Proponer estrategias de diseño, construcción, mantenimiento y criterios de durabilidad fundamentados en los principios de la sostenibilidad aplicables a las edificaciones construidad con los productos de madera considerados.
4	8/04/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY (**construction wood**) AND TITLE-ABS-KEY (**carbon emission**))	439	ARTÍCULO	https://www.sc	**Las construcciones de madera como solución climática**	Calentamiento global CO2 CLT ACV	El sector de la construcción es una de las fuentes importantes de emisiones globales de gases de efecto invernadero.	
5					ARTÍCULO	https://www.sc	Análisis del balance energético de las construcciones a base de madera durante su uso en relación con el CO2 Emisiones	Construcción en madera Dióxido de Carbono Construcción Industrial Sostenibilidad	La problemática abarca el consumo de energía por parte de la industria de la construcción y el impacto ambiental que este genera	OP: determinar la cantidad de CO2producidos durante el funcionamiento de construcciones de madera específicas en relación con la demanda de energía para su calefacción
6					ARTÍCULO	https://www.sc	Medición de la madera: una perspectiva crítica sobre el diseño de edificios de madera de mediana y gran altura		El cambio climático y las emisiones de dióxido de carbono asociadas a la construcción	
7					ARTÍCULO	https://www.sc	Evaluación comparativa del **ciclo de vida** de **edificios residenciales de hormigón y madera** maciza: un estudio de caso en China	Cambio climático Reducción de carbono ACV	Debido al crecimiento de la población en los entornos urbanos de China, el sector de la construcción contribuye a aumentar los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El hormigón y el acero son los dos materiales de construcción más comunes utilizados en China y representan el 60% de las emisiones de carbono entre todos los componentes de construcción	
9	14/04/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY (**construction wood**) AND TITLE-ABS-KEY (**population growth**))	121	ARTÍCULO	https://www.sc	Desarrollos en **Edificios Altos de Madera** e Híbridos e Impactos Ambientales	Edificios altos de madera Estructuras híbridas Construcción sostenible	Las tendencias recientes de urbanización están creando la necesidad de diseñar y construir edificios modernos para viviendas de alta densidad	
10					ARTÍCULO	https://www.sc	**Uso de la madera para el crecimiento sostenible** de las ciudades y su papel en el cambio climático	Desarrollo Sostenible Crecimiento Urbano Dióxido de Carbono	El crecimiento acelerado de la población y la construcción de viviendas en hormigón y acero	OP. Discutir las ventajas del uso de la madera como una solución sostenible en el contexto urbano, en comparación con el hormigón más utilizado.
11	3/05/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("greenhouse gases") AND TITLE-ABS-KEY ("construction materials"))	645	ARTÍCULO	https://www.sc	Madera contralaminada para la construcciónconstrucción: Una descripción general de la **evaluación del ciclo de vida**	Madera Contralaminada Huella de carbono Evaluación del ciclo de vida Cambio climático Construcción sostenible de varios pisos	La industria de la construcción es un gran contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y un gran consumidor de recursos naturales.	explorar el tema del ACV de los edificios CLT centrándose en la huella de carbono. arrojar luz sobre las tendencias actuales de los estudios de LCA relacionados con los edificios CLT en relación con los métodos y hallazgos. identificar brechas potenciales que necesitan más investigación para lograr una comprensión más completa de los impactos ambientales del ciclo de vida asociados con los edificios CLT.
12					ARTÍCULO	https://www.sc	¿La transición a la construcción con madera enfriará el clima?	Construcción de madera Cambio climático gestión de bosques Emisiones de calor residual		Discutir las implicaciones multifacéticas de la transición a la construcción con madera en las ciudades para mejorar el clima, que incluyen las emisiones de gases de efecto invernadero. Demostrar qu una transición a ciudades de madera puede tener un efecto de equilibrio en el ciclo global del carbono y los efectos que la acompañan pueden mejorar, reducir o diminuir ese efecto sobre el clima.
13					ARTÍCULO	https://www.sc	Emisiones globales de gases de efecto invernadero de **materiales de construcción residenciales y comerciales y estrategias de mitigación hasta 2060**	Edificio materiales de construcción Impacto ambiental GEI	Consumo de materiales y el impacto ambiental debido al crecimiento de los edificios en la ciudad	Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionadas con los materiales para edificios residenciales y comerciales junto con sus potenciales de reducción en 26 regiones globales para 2060
					ARTÍCULO	https://www.sc	El uso de materiales de construcción de **madera como forma de almacenamiento de carbono en edificios residenciales** en Brasil	Emisiones de Carbon Efecto Invernadero Materiales de construcción Productos de madera recolectada		Realizar una comparación de la cantidad de carbono almacenado en los materiales de madera con la cantidad emitida por la construcción de apartamentos residenciales utilizando materiales tradicionales en Brasil. Se analizó una muestra de cinco apartamentos, representativos de escenarios de construcción típicos brasileños, y se calculó la cantidad de carbono almacenado en productos de madera (como puertas, pisos y revestimientos de techos).
16					ARTÍCULO	https://www.sc	Evaluación del impacto ambiental de la madera y su potencial para mitigar las emisiones de GEI incorporadas		Las emisiones de GEI incorporadas de las nuevas construcciones debido al crecimiento de la población en el futuro	Analizar el impacto ambiental de la madera y el potencial para mitigar el aumento de las emisiones de GEI incorporadas de las nuevas construcciones residenciales mediante la evaluación del Ciclo de Vida para la etapa de producción de tres edificios modulares de bajo consumo energético.
19					ARTÍCULO	https://www.sc	**Los edificios como sumidero mundial de carbono**		El crecimiento y la urbanización anticipados de la población mundial durante las próximas décadas crearán una gran demanda para la construcción de nuevas viviendas, edificios comerciales y la infraestructura correspondiente. La producción de cemento, acero y otros materiales de construcción asociados con esta ola de construcción se convertirá en una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero	*¿Sería posible transformar esta amenaza potencial para el sistema climático global en un medio poderoso para mitigar el cambio climático?* OP. Explorar el potencial de los edificios urbanos de mediana altura diseñados con madera de ingeniería para proporcionar almacenamiento de carbono a largo plazo y evitar la producción intensiva de carbono de materiales de construcción a base de minerales.

								recolectada		(como puertas, pisos y revestimientos de techos).
16	3/05/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("greenhouse gases") AND TITLE-ABS-KEY ("construction materials"))	645	ARTÍCULO	https://www.sc	Evaluación del impacto ambiental de la madera y su potencial para mitigar las emisiones de GEI incorporadas		Las emisiones de GEI incorporadas de las nuevas construcciones debido al crecimiento de la población en el futuro	Analizar el impacto ambiental de la madera y el potencial para mitigar el aumento de las emisiones de GEI incorporadas de las nuevas construcciones residenciales mediante la evaluación del Ciclo de Vida para la etapa de producción de tres edificios modulares de bajo consumo energético.
19					ARTÍCULO	https://www.sc	**Los edificios como sumidero mundial de carbono**		El crecimiento y la urbanización anticipados de la población mundial durante las próximas décadas crearán una gran demanda para la construcción de nuevas viviendas, edificios comerciales y la infraestructura correspondiente. La producción de cemento, acero y otros materiales de construcción asociados con esta ola de construcción se convertirá en una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero	*¿Sería posible transformar esta amenaza potencial para el sistema climático global en un medio poderoso para mitigar el cambio climático?* OP. Explorar el potencial de los edificios urbanos de mediana altura diseñados con madera de ingeniería para proporcionar almacenamiento de carbono a largo plazo y evitar la producción intensiva de carbono de materiales de construcción a base de minerales.
					ARTÍCULO	https://www.sc	**Edificios de madera como depósitos de carbono**: ¿mitigación u oración?	Emisiones de Co2 Almacenamiento de carbono Cambio climático Construcción en madera		Estimar el volumen de carbono almacenado en las estructuras de madera de los nuevos edificios anualmente, Estudiar el papel de los nuevos edificios de madera como compensador del CO anual causado por el hombre.
20					ARTÍCULO	https://www.sc	Uso de la **madera para el crecimiento sostenible** de las ciudades y su papel en el cambio climático	ARTÍCULO REPETIDO CON LA VARIABLE (TITLE-ABS-KEY (**construction wood**) AND TITLE-ABS-KEY (**population growth**))		
25					ARTÍCULO	https://www.sc	La contribución de los **materiales de construcción** a base de **madera** para impulsar un sector de la construcción con **bajas emisiones de carbono** en Europa			
26					ARTÍCULO	https://www.sc	Desarrollo de un **método de contabilidad de CO2** -e para la cuantificación y el análisis del **carbono incorporado en edificios de gran altura**	Material de construcción Carbono incorporado Edificio de gran altura ACV	Emisiones de GEI (Carbono) en los procesos de construcción de un edificio	desarrollar un método utilizado para la cuantificación y análisis de carbono incorporado en edificios de gran altura.
27					ARTÍCULO	https://www.sc	**La madera como material de construcción:** ¿una opción "común" para la gestión del carbono?		Preocupación por el clima global y el límite de los recursos naturales.	
28	11/05/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("environmental impact") AND TITLE-ABS-KEY ("steel and concrete"))	72	ARTÍCULO	https://www.sc	ACV y huella de carbono de edificios de madera de varias plantas en comparación con edificios de acero y hormigón		Los efectos ambientales de la energía y el potencial de calentamiento global o la huella de carbono	**Estudio comparativo de evaluación del ciclo de vida** posterior al diseño y construcción de un edificio de madera de tres pisos en Nelson.
29					ARTÍCULO	https://www.sc	El papel cada vez mayor de la madera en la sostenibilidad de la construcción		El cambio climático y el impacto de las emisiones de carbono en edificios construidos con acero y hormigón	Estudiar de manera general la madera como material de construcción ecológico y, en particular, su potencial relacionado con la mitigación del cambio climático. Examinar el papel de los bosques y productos madereros gestionados de forma sostenible en la absorción y almacenamiento de carbono, y en la reducción de los niveles atmosféricos de gases de efecto invernadero.
					ARTÍCULO	https://www.sc	Evaluación comparativa **del ciclo de vida de edificios residenciales de hormigón y madera** maciza: un estudio de caso en China	Carbono incorporado Cambio climático Reducción de CO2 ACV Madera en masa	El aumento de las emisiones de GEI debido a la utilización de acero y hormigón en las construcciones residenciales por el crecimiento de los entornos urbanos de China.	Estudiar mediante el enfoque de evaluación del ciclo de vida (LCA) para comparar los impactos ambientales de un edificio de hormigón de referencia y un edificio de madera funcionalmente equivalente que utiliza madera contralaminada como material principal.
30					ARTÍCULO	https://www.sc	Evaluación comparativa del ciclo de vida de los marcos de construcción de acero y hormigón: un estudio de caso de dos edificios residenciales en Irán	ACV Materiales de construcción Estructura de hormigón Estructura de acero	Impacto ambiental tras el aumento de construcciones en acero y hormigón durante los últimos años en Irán	Determinar el impacto ambiental que genera un edificio construido con estructura de acero y un edificio con estructura de hormigon mediante el Análisis del Ciclo de Vida ACV.
32					ARTÍCULO	https://www.sc	Un estudio sobre el análisis de las emisiones de CO 2 de la vivienda de departamentos en el proceso de construcción	Procesos de construcción Emisiones de CO2		Analizar las emisiones de CO2 de una vivienda de apartamentos durante el proceso de construcción
35	11/05/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("construction materials") AND TITLE-ABS-KEY ("co2 emissions"))	570	ARTÍCULO	https://www.sc	**Uso de la madera para el crecimiento sostenible de las ciudades y su papel en el cambio climático.**	ARTÍCULO REPETIDO CON LA VARIABLE (TITLE-ABS-KEY (construction wood) AND TITLE-ABS-KEY (population growth))		
36					ARTÍCULO	https://www.sc	Evaluación de la huella de carbono de los edificios residenciales, una revisión y un estudio de caso en Turquía	Dióxido de carbono Evaluación del ciclo de vida Sector de construcción Consumo de energía	El consumo de energía por parte de los edificios y las emisiones globales de GEI en el sector de la construcción.	Evaluar la huella ambiental del carbono de la industria de la construcción global.
38	11/05/2022	SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY ("residential buildings") AND TITLE-ABS-KEY ("TIMBER construction"))	57	ARTÍCULO	https://www.sc	**Edificios residenciales altos contemporáneos de madera**: ¿cuáles son las principales consideraciones arquitectónicas y de diseño estructural?	Edificio residencial Edificio alto Construcción con madera		Estudiar edificios residenciales internacionales de madera en altura Para aumentar la comprensión de las tendencias globales emergentes.
39					ARTÍCULO	https://www.sc	Instrumentos legales para el diseño de edificios sostenibles		La falta de viviendas y la necesidad de implementar estrategias de desempeño ambiental	Proporcionar una descripción general de los instrumentos legales en relación con los procesos de construcción sostenible en la industria de la construcción alemana, centrándose en los edificios de madera
42					ARTÍCULO	https://www.sc	MÉTODO PARA EVALUAR LAS IMPLICACIONES NACIONALES DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS EDIFICIOS DE MADERA: UN ESTUDIO EJEMPLAR PARA LOS EDIFICIOS RESIDENCIALES EN ALEMANIA	Edificios en madera GEI ACV	La necesidad de evaluar el impacto de GEI en edificios residenciales de madera en alemania	Describir de manera general el estado actual del arte para evaluar las propiedades medioambientales de los edificios de madera en Europa y mostrar cómo estos métodos podrían utilizarse como base para estimar la influencia de un posible cambio de edificios convencionales a edificios de madera en el mercado nacional
43					ARTÍCULO	https://www.sc	Comparación del desempeño del ladrillo y la madera en edificios residenciales: el caso de Australia	Costo de ciclo de vida Construcción en madera	El impacto que generan los materiales como el ladrillo, hormigon y acero en la construcción de edificaciones	Examinar los beneficios de la madera utilizada en las envolventes de los edificios en comparación con los materiales convencionales de alta densidad, como el ladrillo y el hormigón. Demostrar la reducción de la energía y los costos del ciclo de vida, y los beneficios de la madera en el tiempo de construcción cuando se usa como alternativa a los materiales pesados.
44					ARTÍCULO	https://www.sc	**Construcción residencial de varias plantas con madera:** Desarrollos actuales en Europa	prefabricación estructuras de mediana altura construcciones de madera en entornos urbanos		Analizar el uso de la madera como estructura múltiple para edificios residenciales de varios niveles en Europa mediante estudios de caso
48					ARTÍCULO	https://www.sc	Clasificación de los sistemas de construcción de viviendas de madera	Tipologías de madera Edificio residencial Construcción en madera	Las casas de madera no cuentan con una clasificación estandarizada para definir y organizar sus aspectos principales	Proponer una clasificación que relacione los aspectos y detalles de los materiales de madera para viviendas en relación con el nivel de industrialización y el origen cronológico.