

# Análisis de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para la Construcción del Primer Edificio de Madera Masiva en Chile: El Caso del Edificio Tamango en Coyhaique.

**Estudiante:** Claudio Droguet Farfan

**Profesor guía:** Gabriel Felmer Plominsky

Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

## Resumen

A nivel internacional la construcción de edificios representa un 38% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), esto debido principalmente al uso de materiales que posee un elevado factor de emisión. La edificación en Chile representa el 33% de las emisiones GEI, donde el uso del hormigón armado es predominante, lo cual se podría ver altamente reducido con la implementación de nuevas tecnologías y materiales que permiten capturar y reducir las emisiones de carbono. Entre estos materiales se encuentran la madera masiva, principalmente la madera contralaminada (MCL) y la madera laminada encolada (MLE). Esta investigación de seminario busca cuantificar las emisiones GEI derivadas del uso de la madera masiva para el primer edificio en altura proyectado con este sistema constructivo en Chile. El estudio se enfoca en las emisiones GEI de las etapas del ciclo de vida que comprende desde la extracción de materias primas hasta la construcción. La metodología de análisis de ciclo de vida propuesta consiste en procesar las emisiones GEI del edificio Tamango con ayuda del software One Click LCA. Dentro de los resultados, se logra obtener las emisiones asociadas a cada caso de estudio, en el caso de Tamango caso base corresponde a 4341,42 ton CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>, en el caso de Tamango equivalente en madera masiva nacional 3960,06 ton CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> y en el caso de Tamango equivalente en hormigón armado es de 5259,66 ton CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** Gases de efecto invernadero, Carbono emitido, Construcción, Madera masiva, ACV.

## 1. Introducción

El calentamiento global es un problema a nivel mundial, puesto que con el tiempo el aumento de las temperaturas ha comenzado a afectar la forma de habitar nuestras ciudades debido a las emisiones de GEI como principal causa (Lüthi et al., 2008, NOAA). El sector de la edificación a nivel mundial representa el 38% de las emisiones GEI. (GABC,2021).

A nivel nacional el sector de la edificación representa el 33% de las emisiones de carbono, (GABC, 2021). Donde el mayor impacto ambiental se ven representados por el uso del hormigón, debido a los procesos que requiere su fabricación, al emitir mayor porcentaje de gases de efecto invernadero en comparación a la madera masiva (Banco Mundial, 2020). No obstante en Chile, o países altamente sísmicos, es complejo realizar construcciones con estructuras de madera masiva a gran escala, principalmente debido a la normativa sísmica y la resistencia de estos materiales a soportar las oscilaciones de grandes magnitudes en grandes edificaciones, sin mencionar que debe de cumplir requisitos de normativa tanto, estructural, acústicos, la resistencia al fuego y transmitancia térmica.

El uso de la madera masiva, como el MCL (Madera Contra Laminada); el MLE (Madera Laminada Encolada); y el MML (Madera Micro Laminada). Son sistemas constructivos los cuales al ser procesados logran estructuras de mayor tamaño y mejores prestaciones, permitiendo cubrir mayores luces, además de mejorar la resistencia a fuerzas de carga, aumenta la masa térmica y lograr la creación de capas que poseen mayor resistencia al fuego, sin mencionar que poseen menor peso en comparación que el hormigón. (Hernández y Elgueta, 2020)

La implementación de estructuras de MCL, MLE y MML se han utilizado en el extranjero mayormente en Europa, en donde se ha construido el edificio más alto hasta ahora en madera masiva el Mjøstårnet diseñado por Voll Arkitekter, ubicado en Noruega, su estructura principalmente está compuesta por MCL y MLE, posee un total de 18 plantas y una altura de 85,4 mts. Una de las mayores ventajas fue el ahorro en el tiempo de construcción debido que se trataba de piezas prefabricadas en comparación con el hormigón in situ (Juárez Montilla, 2018).

A nivel nacional la construcción con estructuras en madera masiva se ha mantenido a baja y mediana escala, una excepción es el caso de la torre experimental Peñuelas en la región de Valparaíso, alcanzando una altura de 20 mts. Desarrollada por el Centro UC de Innovación, CORMA y CONAF. Buscando realizar estudios sobre resistencia sísmica, vialidad y sustentabilidad. En el caso del edificio Tamango se convertirá en un proyecto pionero en la construcción a gran altura, su programa es principalmente residencial contando con un total de doce pisos de altura, que será construido mayormente en madera masiva. Según TallWood su estructura se compone por un (60%) de madera masiva, (35%) de hormigón armado y (5%) de acero.

Esta investigación se centra en el estudio del impacto ambiental de la madera masiva en la construcción de edificios híbridos, de manera de obtener resultados sobre las emisiones GEI en este tipo de construcciones y compararlas con edificios de estructuras tradicionales. El estudio se enfoca en el edificio Tamango, el cual se diseña a partir de núcleos de hormigón armado y una estructura portante en madera masiva, se busca obtener las emisiones en las etapas de extracción, manufactura, transporte y construcción del edificio.

### **1.1. Objetivo Principal.**

Realizar un análisis de ciclo de vida de las emisiones GEI que se generarían en la construcción del edificio Tamango,. Proyectado con componentes de madera masiva de origen internacional considerando sus etapas de Extracción materias primas (A1), Transporte extracción materias primas (A2), Manufactura de productos (A3), Transporte de productos y equipamientos (A4) y Construcción e instalación (A5).

### **1.2. Objetivos específicos**

- Comparar las emisiones GEI resultantes del edificio Tamango con las de un edificio equivalente proyectado para su construcción con madera masiva de origen nacional.
- Comparar las emisiones GEI resultantes del edificio Tamango con las de un edificio equivalente proyectado para su construcción con hormigón armado convencional.
- Desagregar los resultados de todos los edificios evaluados para su comprensión por etapas de ciclo de vida, materialidad y elementos constructivos por sistema constructivo.

## **2. Estado del Arte**

La construcción con estructuras de madera ha ido ganando atención en todo el mundo debido al bajo impacto ambiental que posee. En el caso de China, la segunda potencia económica mundial no se ha visto reflejado el desarrollo en construcción en madera masiva debido a las limitaciones en la construcción y el desarrollo tecnológico, similar al caso de Chile. Aunque nuevas políticas han buscado la implementación de este sistema constructivo en el país asiático, un estudio con apoyo del software IES™ realizo la comparativa en las emisiones del ACV de un edificio de 7 pisos ubicado en la región de Xi'an una de las más fría del país, el cual se compara con un edificio rediseñado en MCL (CLT), la evaluación consiste en 3 etapas diferentes, la materialización, operación y fin de la vida. Entre los resultados se obtuvo que el uso de MCL reduce el consumo de energía en más del 30% y reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub> en más del 40%, además de mencionar que en el caso de reciclar las estructuras de MCL al final de la vida útil se reducirían aún más las emisiones de carbono, (Liu et al.,2016).

En el caso de la construcción de un edificio de 4 pisos por la universidad del Bio-Bio el año 2015, se ve una diferencia de 4 semanas en el proceso de construcción mientras que en el caso del hormigón armado se tardan 10 semanas en terminar en comparación el caso de la madera masiva tardo solo 6 semanas. La cantidad de gases que se genera aproximadamente es de 185 toneladas de CO<sub>2</sub> en el caso

del hormigón armado, en cambio la construcción del edificio en CLT proyecta la emisión de 104 toneladas de CO<sub>2</sub>, es un 43,8% menos de CO<sub>2</sub> liberado a la atmosfera.

Al aumentar la construcción en madera masiva en edificios de gran altura, se lograría reducir las emisiones GEI asociados al factor de emisiones comparado con el hormigón armado, esto permitirá disminuir la presencia de los GEI en la atmosfera (Ruiz, 2015). Los principales factores en la diferencia de emisiones producidas, corresponde a que la madera masiva no posee elementos estructurales auxiliares como lo son las columnas o vigas, debido a que el CLT es soportado por su misma estructura, lo que hace que disminuya la cantidad de material empleado.

Un estudio centrado en las distintas metodologías y sus aportes a la cuantificación de las emisiones de carbono permite establecer que las actividades de construcción y sus impactos ambientales van mucho más allá de la etapa de construcción, sino que éstas generan impactos durante todo el ciclo de vida del material y del proceso de edificación, encontrando que es durante el ciclo de vida de los materiales donde se encuentra los mayores aportes en emisiones. Llegando a conclusiones donde plantean el uso de nuevos métodos de construcción alternativos, para lograr reducir el impacto de emisiones GEI mediante un diseño receptivo. El objetivo principal es la reducción de los impactos nocivos y la reducción de la energía operativa para los edificios y el control de las emisiones GEI asociadas a la construcción. (García et al., 2020).

Otro estudio enfocado en demostrar las características de cada material, logrando resultados como el hecho de que la madera masiva sea menos pesada que el hormigón armado por lo que el peso propio puede llegar a ser 4,5 veces menor si se construye con madera masiva. Aunque la madera masiva requiere uniones de acero, las cuales pueden llegar a aumentar los resultados de emisiones GEI según el análisis de ciclo de vida (ACV). Las mayores limitantes que surgen y son mencionadas es la diversidad de lugares de producción y esto se puede asimilar al caso de Chile debido a la pocas fabricas industrializadas que fabrican MCL y MLE, mientras que el hormigón es de mayor accesibilidad a nivel nacional. Otra diferencia que se describe en el estudio es el tratamiento o reciclaje de los materiales, mencionan la efectividad que posee la madera masiva en comparación con el hormigón. (Montilla, 2018).

El cálculo de impacto ambiental se puede contrastar y se podría ampliar al comparar con otros sistemas constructivos como lo es el uso del ladrillo o el acero estructural. Con esos valores se lograría obtener una visión más amplia de la repercusión de la construcción en el medio ambiente y las ventajas y desventajas que presentan cada uno de los materiales. La necesidad de centrarse en realizar mediciones de la huella de carbono como indicador medioambiental para la construcción de edificaciones, donde se planten casos de estudios para potenciar el desarrollo de las estructuras en madera masiva y hormigón, y así lograr obtener datos de las emisiones de ambos casos y lograr hacer un contraste de las emisiones de carbono equivalente. Esto entregaría datos necesarios para potenciar el tipo de construcciones híbridas y así ayudar a disminuir las emisiones que produce la construcción.

Es así como mediante el estudio a los procesos de elaboración de un determinado material, se obtiene un factor de emisión de toneladas de CO<sub>2</sub>. Con dichos resultados y la cubicación de los materiales del

edificio tipo, es posible estimar un valor aproximado de toneladas emitidas en el proceso de construcción de un edificio tipo. (Ruiz, 2015).

En Japón el gobierno en busca de aprovechar el recurso forestal del país ha promovido utilizar el sistema constructivo en base a paneles de MCL para la construcción de edificios, un estudio realizado por la Universidad Ritsumeikun, Ibaraki, Japón. Ha realizado un estudio del impacto desde el inicio de la construcción hasta la finalización del edificio, para esto se plantea un edificio de 2 pisos en Kumamoto, Kyushu, Japón. La construcción del edificio representa 23% de las emisiones al concreto utilizado para la construcción de cimientos, además de un refuerzo para el terreno debido al desnivel y la calidad del suelo lo cual representa un total del 19% de las emisiones GEI. El total de las emisiones alcanza el 53% debido al impacto de las barras deformadas que se utilizaron en los cimientos. Llegando a concluir que se debe de potenciar el desarrollo y aplicación de métodos de bajo impacto ambiental para el refuerzo del suelo y las fundaciones. (Nakano et al.,2020).

Un estudio similar al de este seminario realizo un análisis de ciclo de vida en un edificio de 12 pisos proyectado en MCL y hormigón equivalente, considerando las etapas A1-A5 (producción a construcción), B2, B4 y B6 (uso), C1-C4 (final de vida) y D (beneficios más allá del sistema). Utilizando el software Athena Impact Estimator for Buildings (IE4B), lograron resultados donde se aprecia la efectividad del edificio construido en MCL logrando emisiones de un 70% inferior que las del edificio proyectado en hormigón, al mismo tiempo agregan la necesidad de seleccionar los materiales para la construcción pensando en reducir el impacto ambiental. (Chen et al., 2020)

El uso de ACV permite tener conocimiento sobre el impacto de carbono y evaluar el impacto en el aumento de la construcción de edificios, una investigación realizada en Chile propuso un edificio de 5 pisos de altura construido con madera masiva y compararlo con hormigón armado equivalente. (Felmer et al., 2022). Los resultados obtenidos se filtran por etapas logrando explicar con mayor claridad las diferencias en las etapas de cada material:

La cantidad de material que se utilizara para la construcción del edificio, el carbono incorporado en la fase de producción (A1-A3), el carbono incorporado en la fase de construcción (A4-A5), la fase de uso energético operativo, las emisiones de carbono del ciclo de vida y el consumo de energía primaria son los principales factores para obtener resultados sobre las emisiones en el caso del edificio planteado en la investigación.

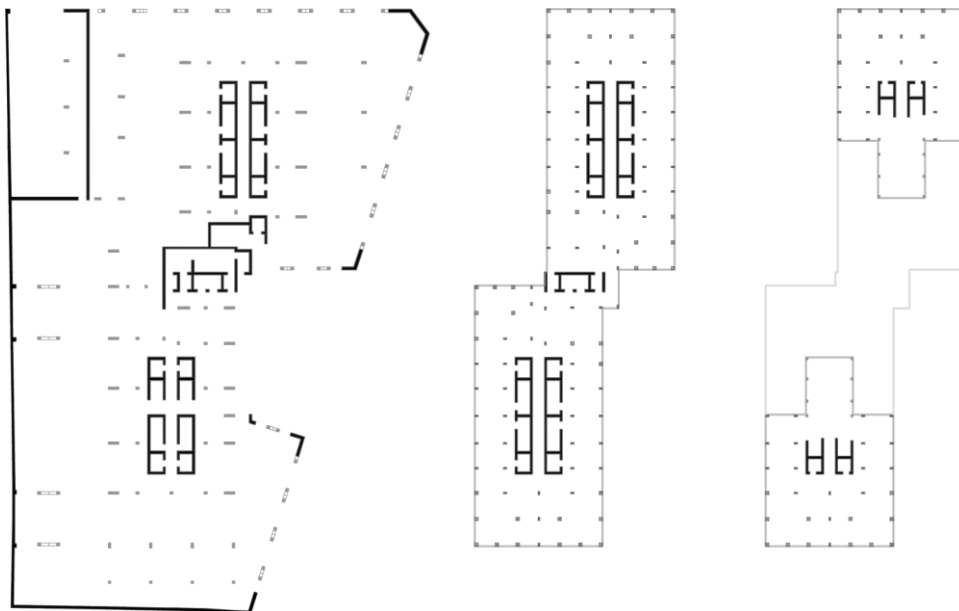
Obteniendo resultados donde el uso de madera masiva en la construcción reduce las emisiones de carbono en comparación con el hormigón, en el caso de la madera masiva se obtuvo (30,5 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>), mientras en el caso del hormigón armado se obtuvieron (186,5 toneladas de CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>). Esto significa que la construcción de un edificio de 5 pisos utilizando madera masiva de origen nacional, específicamente de las plantas de MCL de la Región del Bio-Bio, permitía generar beneficios en cuanto a la disminución de emisiones GEI.

### 3. Caso de Estudio: Edificio Tamango

El Edificio Tamango es un proyecto que se programa construir en la localidad de Coyhaique, Región de Aysén, extremo sur de Chile. Es un proyecto gestionado y desarrollado por TallWood, será el primer edificio de altura en Chile que usaría madera masiva en gran parte de su estructura. El diseño plantea una superficie total de 19.700m<sup>2</sup>, contara con una estructura hibrida, con fundaciones y núcleos verticales de hormigón armado y pilares, vigas y losas en madera masiva (Figura 1).



**Figura 1:** Render edificio Tamango, Fuente: ArchDaily



**Figura 2:** Planimetrías piso 1, piso tipo y piso 12, Fuente: Elaboración propia.

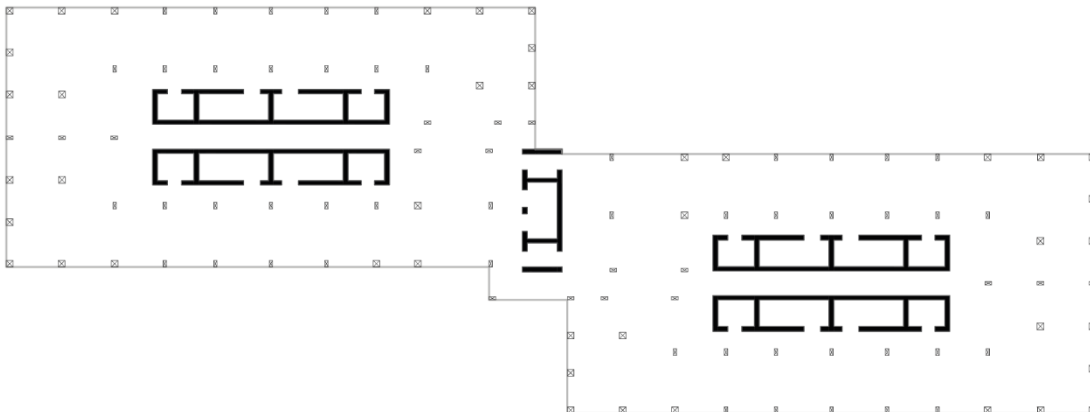
El proyecto considera un total de 12 pisos equivalente a 35mts de altura, los primeros 2 niveles de oficinas y los otros 10 de areas residenciales. “La estructura se compone principalmente de madera masiva representando un 60%, el hormigón armado presenta un 35% y acero 5% (TallWood, 2022)”. El 60% equivale a estructuras de madera masiva principalmente:

- MCL (Madera Contra Laminada) mayormente conocida como CLT (Cross Laminated Timber).
- MML (Madera Micro Laminada) en inglés LVL (Laminated Veneer Lumber).
- MLE (Madera Laminada Encolada) en inglés Glulam (Glued Laminated Timber).

El 35% equivalente a hormigón armado se ubica en los subterráneos, los primeros 2 niveles y tutores centrales y el 5% restante equivale a las estructuras de acero, específicamente a los balcones que se montaran.

### 3.1. Diseño Estructural

Como se ha mencionado el edificio Tamango es un edificio híbrido de hormigón y madera masiva, esto se debe principalmente al diseño estructural. La mayor cantidad de hormigón se encuentra en los subterráneos del proyecto debido a la resistencia que posee a la humedad, además de la resistencia a la compresión. Sin embargo una decisión que tomo TallWood para cumplir con la resistencia sísmica fue hacer un descalce en la planta, donde se ubican un tutor central de hormigón armado también considera tutores en el centro de cada núcleo (Figura 3).

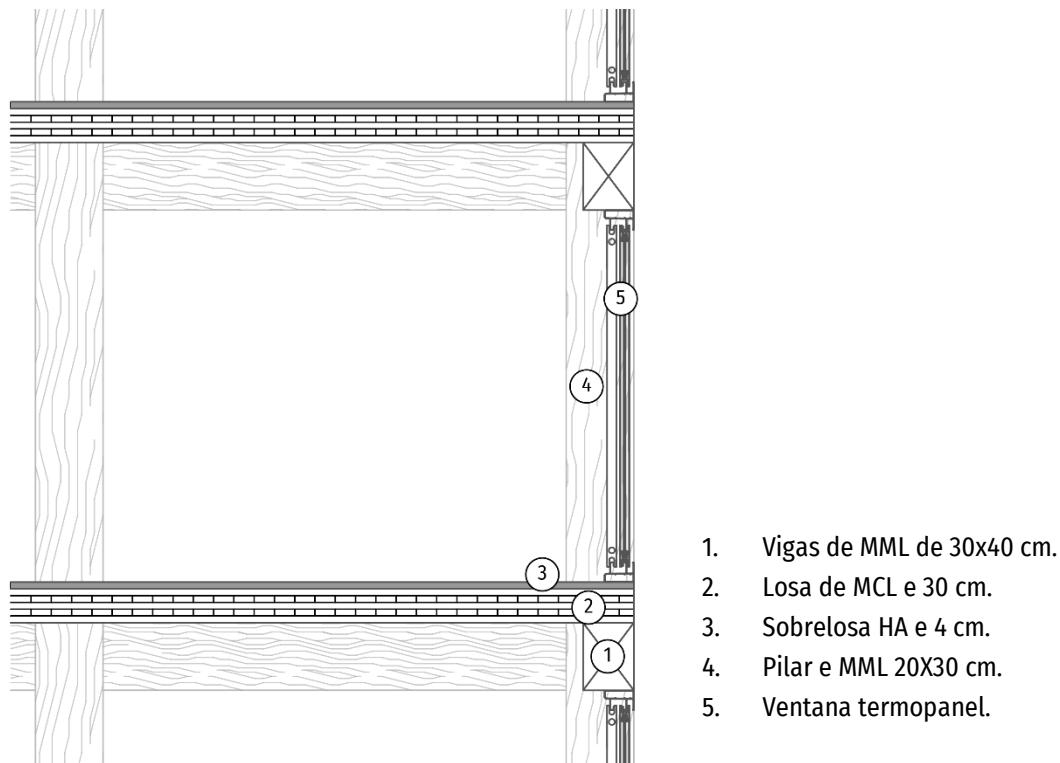


**Figura 3:** Planta piso tipo edificio Tamango, Fuente: Elaboración propia.

Los núcleos de hormigón armado son la principal estructura de circulación vertical del edificio, los tutores son estructuras continuas en todo el edificio. Desde el nivel 3 hasta el nivel 12 la estructura portante se sujeta de los núcleos, permitiendo un montaje más rápido de las piezas de madera masiva dando forma a los niveles superiores, al contar con pilares y vigas de MML el proceso de construcción es más rápido. La madera masiva representa un total de 7.272 m<sup>3</sup>, el hormigón 4.370m<sup>3</sup> y 692m<sup>3</sup> de acero.

### 3.2. Diseño Constructivo

El proceso constructivo es conocido en el caso del hormigón, en el caso de la fundación primero se debe excavar para trazar donde se ubicarán los moldajes de la losa inferior, luego los tutores y muros perimetrales, además de considerar el moldaje, vertimiento de mezcla, el fraguado y el desmoldaje de cada pieza estructural. En el caso del proceso de montaje de las piezas de madera masiva se requiere de una grúa pluma para levantar las piezas y personal para ayudar a posicionar los pilares de MML en la losa de hormigón, esto daría la forma del piso 3, desde allí el proceso de montaje de vigas y losas de MCL es mucho más rápido en comparación al hormigón, debido a que no requiere de moldaje ni tiempo de fraguado de las piezas solo se debe de ir conectando las piezas de acero a la losa de hormigón. Según Andrés Sierra en la charla de CORMA edición 2022 el tiempo ahorrado es de 3 meses gracias al proceso de montaje de las piezas de madera masiva en comparación al hormigón. Esto principalmente a la facilidad de conectar piezas prefabricadas que darán forma a la estructura. (Figura 4).



**Figura 4:** Corte detalle interior, Fuente: Elaboración propia.

El proceso de montaje utilizando el sistema estructural de vigas y pilares de madera masiva, favorece al tiempo de construcción del proyecto, aunque de igual manera se debe considerar la instalación de sistema eléctrico, red de agua y sanitario, calefacción, la instalación de muros divisores de apartamentos, aislación acústica y térmica, fachada exterior y los balcones de acero. Sin considerar detalles como las terminaciones de piso, muros y cielo.



### 3.3. Normativa

- Resistencia Térmica:

Coyhaique se encuentra en la zona climática 7, contando con frío oceánico de bajas temperaturas, fuertes vientos, mucha humedad y abundantes lluvias, una temperatura media anual de 4,8°C, una precipitación media anual de 1589mm y vientos con una velocidad media de 7Km/h.

**Tabla 1:** Criterios de transmitancia térmica.

Estructura	Unidad	Resultado
Techo	0,25 W/m <sup>2</sup> k	0,19 W/m <sup>2</sup> k de transmitancia térmica ponderado por debajo del plan de descontaminación de Coyhaique.
Muro	0,35 W/m <sup>2</sup> k	0,30 W/m <sup>2</sup> k de transmitancia térmica ponderado en la fachada exterior.
Ventanas	≤0,2 W/m <sup>2</sup> k y un 23% de superficie ponderado	0,2 W/m <sup>2</sup> k considerando la ventana más desfavorable del edificio.
Puerta	1,7 W/m <sup>2</sup> k	

Para evitar la transmitancia térmica en ventanas, puertas y muros, se instalan diversos sellos desde, sellos de poliuretano en el marco de las ventanas las cuales son de doble vidrio hermético de 6mm de espesor en cada hoja y una cámara de aire de 12mm con marcos de PVC. En el caso de las puertas se instalan burletes autoadhesivos de caucho y burletes sobrepuesto de esta manera se evita la filtración de aire. En las soleras de los muros se sellan con espuma de poliuretano en spray para las soleras superiores y en el caso de las soleras inferiores se utiliza poliuretano mono componente. Al mismo tiempo se incluye un sello de silicona termorresistente en los artefactos eléctricos siendo un detalle de estándar en un edificio de madera masiva.

El sistema de calefacción principalmente consta de una bomba de calor eléctrica más una losa radiante ubicada en las sobrelosas de cada apartamento, aquí es donde la masa de la madera se aprovecha para un ahorro de energía en calefacción debido a la baja cantidad de energía que traspasa siendo de 0,10 W/m<sup>2</sup>k, en comparación al hormigón en el cual la cantidad de energía que logra traspasar es de 1,63 W/m<sup>2</sup>k permitiendo un uso eficiente de la calefacción proyectando un ahorro de 75% en gastos comunes equivalente a 320 ton CO<sup>2</sup>eq/año.

- Resistencia acústica.

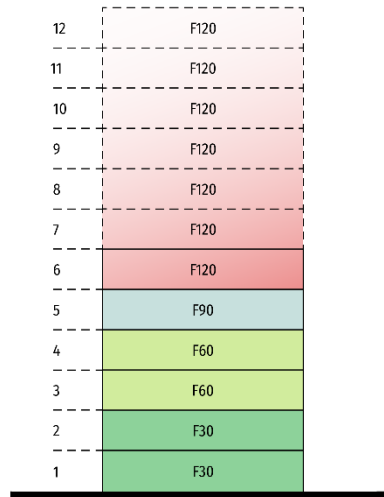
El diseño acústico considera el ruido aéreo (Índice de reducción acústica mínima de 45 dBA) y el Impact Noise (Nivel de impacto normalizado de 75 dBA) se logra cumplir con la norma chilena y con estándares internacional, además de los detalles que no se encontraban prescritos por el MINVU se realizan modelaciones digitales y se homologan para cumplir con la norma vigente (Figura 5).



**Figura 5:** Aislación acústica de elementos divisorios en departamentos, Fuente: TallWood.

- Resistencia al fuego.

Para el diseño de resistencia al fuego se realizó un incendio proyectado en un modelo digital para obtener resultados y las condiciones que se deben de reforzar, una estrategia para mejorar la resistencia es dejar una capa de sacrificio en los elementos estructurales expuestos de esta manera la carbonización externa protege la pieza estructural (Figura 6).



**Figura 6:** Resistencia al fuego por pisos del Tamango, Fuente: Elaboración propia a partir del Art. 4.3.3. O.G.U.C.

## 4. Materiales y herramientas

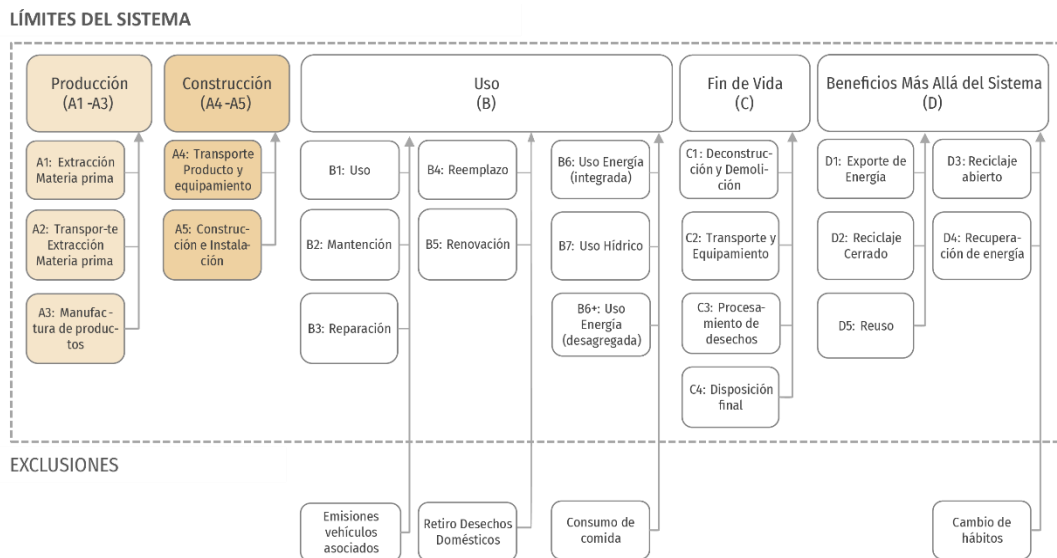
### 4.1. Análisis de Ciclo de Vida

Este estudio se basará en las ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 las cuales son un conjunto de normas que regulan la aplicación en los Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

- ISO 14040:2006 Gestión Ambiental. Evaluación de ciclo de vida. Principios y Marco.
- ISO 14044:2006 Gestión Ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Requisitos y directrices

Describen los principios y marcos de referencias de los ACV entre estos se encuentran: la definición del objetivo y el alcance del (ACV), el análisis del inventario del ciclo de vida (ICV), la fase de evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV), la fase de interpretación del ciclo de vida, el informe y la revisión crítica y por ultimo las limitaciones y la relación entre las fases del (ACV).

El ACV nos permite conocer las etapas de producción y de construcción, los procesos y materiales que producen el mayor impacto ambiental. Se suelen establecer en 4 o 5 etapas en el ciclo de vida de una construcción. (Figura 7).



**Figura 7:** Límites del sistema Ciclo de Vida, Fuente: Elaboración propia a partir de ISO 14040-14044.

La investigación se realiza en etapas según métodos de ACV donde se cuantificarán las emisiones GEI en cada etapa para ser comparadas con las propuestas planteadas.

- Edificio Tamango en madera masiva de origen internacional (MMI-Caso base).
- Edificio Equivalente en madera masiva de origen nacional (MMN)
- Edificio Equivalente en hormigón armado convencional (HA)

Se denomina edificio equivalente a la proyección del edificio Tamango construido en (MMN) y (HA) para el desarrollo de la investigación.

El indicador de Potencial de Calentamiento Global PCG es una medida equivalente de cuanto calor se produce por un gas de efecto invernadero al compararlo con CO<sub>2</sub>, un ejemplo, sería el Metano CH<sub>4</sub> su indicador PCG en 20 años es de 56, si se emitiera un millón de toneladas de Metano (1 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>) es equivalente a 56 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (56 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>) (GreenFacts).

Fuentes primarias y secundarias para el desarrollo de la investigación se utiliza información oficial de TallWood específicamente imágenes del diseño del edificio Tamango, además, de información presentada en charlas. Esto principalmente para conocer en mayor profundidad las decisiones de diseño y el uso de los materiales. También se utilizan datos del software One Click LCA para obtener los resultados de las emisiones GEI del edificio ya que posee certificaciones internacionales, como la BREEAM (certificación BRE Global de Reino Unido) y la LEED (certificación Líder en Eficiencia Energética y Diseño EE.UU).

**Tabla 2:** Factores de emisión de los materiales.

<b>Material</b>	<b>Factor de emisión (Kg CO<sub>2</sub> eq)</b>	<b>Fuente datos</b>
Concreto premezclado, resistencia baja	225,0	One Click LCA 2018 - Chile
Concreto premezclado, resistencia normal	307,56	One Click 2022 - Chile
Concreto premezclado, resistencia alta	370,26	One Click 2022 - Chile
Madera Micro Laminada	231,52	FPIinnovations 2013 - Canadá
Madera Contra Laminada	129,29	Nordic Engineered Wood 2013 - Canadá
Madera Laminada Encolada	157,69	One Click LCA 2023 - Chile
Madera Aserrada	61,19	One Click LCA 2023 - Chile

## **4.2. Etapa de Producción (A1-A3)**

### **A1: Extracción materias primas:**

El proceso de extracción de las piezas de madera en el caso de Tamango caso base y Tamango MMN, pasa por un proceso de clasificación para convertirse en un elemento estructural en madera masiva (MCL, MLE o MML). En el caso de Tamango HA el proceso de extracción de las materias primas depende de más elementos a comparación que la madera, estos materiales se procesan industrialmente, además de agregar elementos químicos para lograr obtener el resultado final. En los 3 casos los materiales se convierten en un conjunto, el cual tras su uso o consumo se convierte en desechos o residuos a la espera de su eliminación o idealmente reciclaje antes de volver a la naturaleza (CORMA, 2018). En el caso de Tamango caso base toda la extracción de árboles proviene de bosques de origen Finlandeses donde se aporta a la disminución de gases de efecto invernadero al aprovechar este recurso. En el caso de Tamango MMN y Tamango HA las materias primas son de origen nacional.

### **A2: Transporte extracción materia primas:**

El proceso de transporte en el caso de Tamango caso base contempla el proceso de traslado de las materias primas desde los bosques de Finlandia hasta las fábricas del país. En el caso de Tamango MMN y Tamango HA el proceso se define por rutas de tránsito específicamente entre el bosque de

plantación y el centro de manufactura, en el caso de la materia para el hormigón la ruta es desde el centro de extracción a la fábrica de cemento. Conjuntamente se consideran las medidas que se implantaran para una correcta operación y mitigación de impactos que produce esta actividad. Adicionalmente se implantan dispositivos GPS para registrar la velocidad, detenciones, horas de conducción y ruta programada estas medidas permiten garantizar que el transporte de madera este siendo realizado de forma segura y de acuerdo con la legislación vigente (CORMA, 2020).

#### **A3: Manufactura de productos:**

La producción de los elementos estructurales en el caso de Tamango caso base y Tamango MMN la etapa de manufactura de la madera masiva consta de Clasificación, Preparación, Finger Joint, Adhesivo, Prensado, Calibración y Empaquetado de las piezas, las principales piezas estructurales son las losas de MCL (CLT), vigas y pilares de MML (LVL) y solo las escaleras son de MLE. En el caso de la MCL son paneles de madera laminada cruzada en bajas dimensiones que se calibran a 20mm en cepilladoras, para luego ser unidas con un adhesivo especial (CORMA, 2020). Para el caso de manufactura de Tamango HA el material en las fábricas se debe de triturar, homogeneizar y almacenar, luego calcinar y finalmente enfriar y almacenar la mezcla.

### **4.3. Etapa de Construcción (A4-A5)**

#### **A4: Transporte de productos y equipamiento:**

El transporte de productos a la obra consiste en la programación y asignación de los viajes en las unidades de transporte, para que se cumpla con el despacho de los materiales en el tiempo correcto.

**Tabla 3:** Distancias de transporte.

	<b>Distancia (Km)</b>		
	<b>Barco</b>	<b>Camión MM</b>	<b>Hormigonera</b>
Tamango caso base	16.388	1.746	694
Tamango madera masiva nacional		898	694
Tamango hormigón armado			694

#### **A5: Construcción e instalación:**

El sistema de montaje para el caso de Tamango caso base y Tamango MMN consiste en preparar la base de hormigón y los núcleos con el sistema tradicional de construcción en hormigón armado, el sistema de construcción con madera es más rápido debido a las estructuras prefabricadas de alta precisión que disminuyen el tiempo de ejecución, existe la prefabricación en base a paneles que son montados en obra con ayuda de maquinarias pesadas. Los productos de madera son materiales de construcción que se taladran fácilmente para proporcionar la conexión entre elementos estructurales, que van desde clavos, pernos, placas de metal y conectores (Sierra, 2018). En el caso de Tamango HA consiste en el proceso de trazado, moldajes y vertimiento de hormigón, al fraguar se retira el moldaje y se continua con la estructura superior del edificio, esto requiere de más tiempo en comparación a Tamango caso base y Tamango MMN.

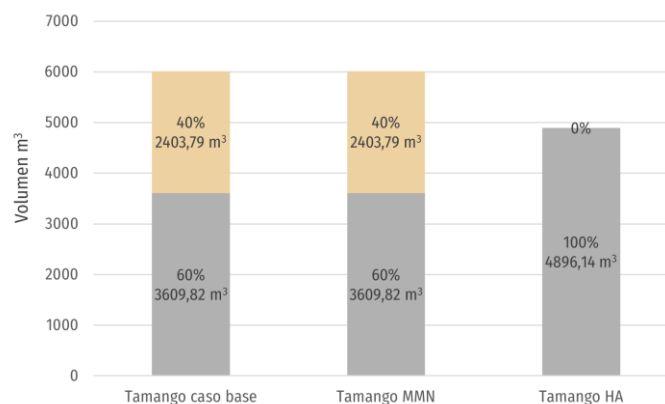
#### 4.4. Herramientas de modelación

Para la modelación del edificio Tamango se utilizaron diversas herramientas. Primero se reúnen las planimetrías del edificio en ArchDaily. Luego se ingresan y escalan en Rhinoceros 7 donde se comienza a modelar los elementos estructurales de cada piso, esto con ayuda de los cortes para saber el espesor de cada elemento. Una vez que se cuenta con el modelo 3D dividido según sus elementos estructurales con ayuda de Excel se realiza una cubicación del edificio Tamango (Ver anexo 1). Con los datos del volumen de cada elemento estructural se ingresa al software One Click LCA. Donde se comienza a hacer un listado de materiales según elemento estructural considerando el factor de emisión de cada uno. Para luego ingresar el volumen de cada material y la distancia de transporte según material a la obra. Para obtener las emisiones GEI el software entrega los gráficos por elementos según la etapa de ciclo de vida medidos en la unidad de peso (Kg). Estos datos se ingresan en Excel para hacer los gráficos en toneladas y una vez que se cuenta con los gráficos de las emisiones GEI en toneladas según elemento se ingresan en Word en la etapa de resultados.

### 5. Resultados

#### 5.1. Cuantificación de Materiales.

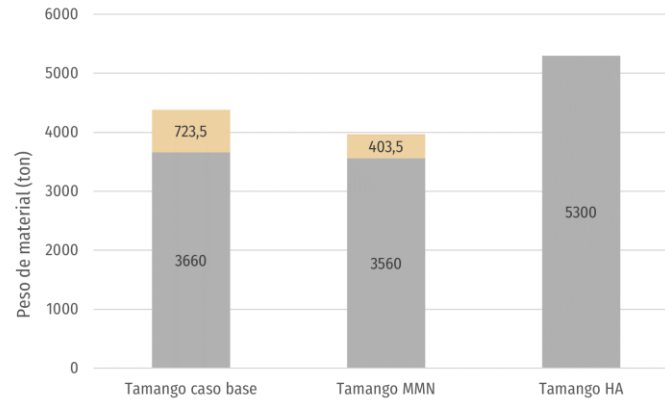
El 40% del volumen del edificio Tamango es madera masiva. Esto se debe principalmente a la cantidad de hormigón que se utiliza para los 3 niveles de subterráneos proyectados originalmente. Esto se puede constatar en la (Figura 8) donde el edificio Tamango y su equivalente proyectado en madera masiva nacional, son iguales debido a que sólo cambia el origen de la materia prima y no su dimensionamiento para su uso en obra. En el caso del edificio equivalente en HA se ve disminuida la cantidad de volumen de material debido que no se requiere de sobrelosas de hormigón como es en el caso de Tamango caso base y en Tamango equivalente en madera masiva nacional.



**Figura 8:** Análisis de contribución por volúmenes del material. Fuente: Elaboración propia.

En la comparación por peso de material, el hormigón representa un mayor aporte en peso que la madera masiva, en el caso de Tamango caso base representa un 83,37% de la estructura, en Tamango

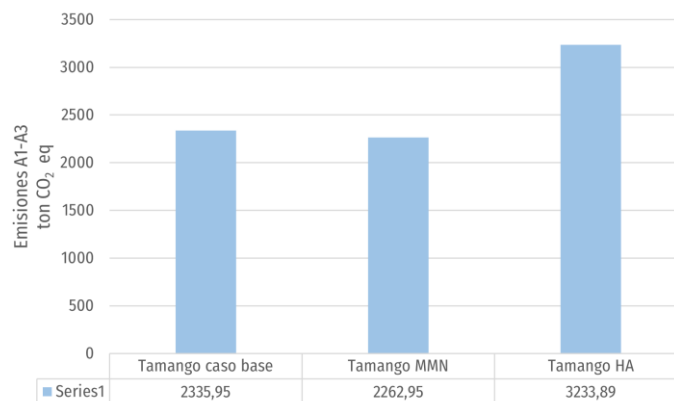
equivalente en madera nacional un 89,72% y en Tamango equivalente en hormigón armado un 100%. Esto considerando sólo los materiales estructurales de madera masiva y hormigón. No se considera las estructuras metálicas secundarias (barandas, enfierradura, etc.) por falta de información al momento de redactar el presente artículo.



**Figura 9:** Análisis de contribución por pesos del material. Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Manufactura de materiales (A1-A3).

En la etapa de manufactura (A1-A3) es donde se genera la mayor cantidad de emisiones GEI para los tres edificios en estudio. Las emisiones GEI para cada edificio se representa como GWP en ton CO<sub>2</sub> eq por metro cúbico (Figura 10). La etapa (A1-A3) considera la extracción de materias primas, el transporte de la extracción de materias primas y la manufactura de productos. La contribución en emisiones del edificio Tamango es de 2335,95 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>, en el caso del Tamango equivalente en madera masiva nacional es de 2262,95 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> y en el caso de Tamango equivalente en hormigón armado es de 3233,89 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>. El aporte de emisiones en Tamango equivalente en madera masiva nacional es de un 30% menos que el de Tamango equivalente en hormigón armado, donde el uso de madera masiva refleja la baja cantidad de emisiones GEI.

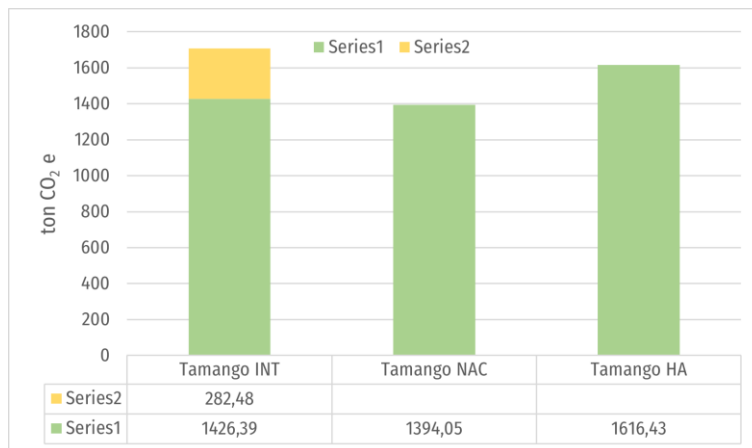


**Figura 10:** Total de emisiones de la etapa de manufactura (módulos A1-A3). Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Transporte e instalación (A4-A5).

El transporte se considera en dos series; sección uno para el traslado en tierra (camiones y hormigonera) y otra sección para el transporte en barco. Para esta etapa Tamango caso base aporta una cantidad de 1709 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>, Tamango equivalente en madera nacional 1394 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> y Tamango equivalente en hormigón armado 1616,43 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>. Si bien las distancias de Tamango caso base son mayores debido a que los componentes de madera masiva son traídos de Finlandia, además del transporte en barco hasta el puerto de San Antonio y luego ser transportado en camión hasta Coyhaique, la cantidad de emisiones que se atribuyen a Tamango equivalente en hormigón armado se debe a la cantidad de m<sup>3</sup> que se requieren y la cantidad de carga que traslada un camión mixer 8 m<sup>3</sup> aprox. esto aumenta la cantidad de viajes que se deben de realizar aumentando las emisiones asociadas al transporte en Tamango equivalente en hormigón armado.

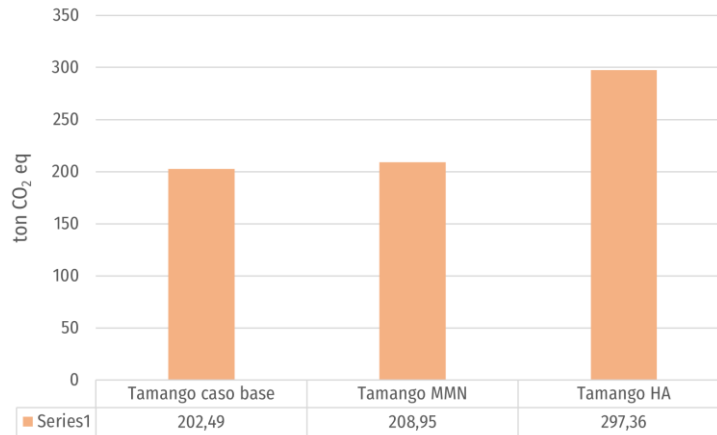
La mayor diferencia de emisiones es entre Tamango equivalente en madera nacional y Tamango equivalente en hormigón armado habiendo una diferencia de 18% entre ambos casos (Figura 11). Para los 3 edificio en estudio el hormigón es trasladado de la planta de cemento Melón ubicada en Puerto Montt, región de Los Lagos hasta Coyhaique (694 Km). Mientras que para el caso de Tamango equivalente en madera masiva la madera es trasladada desde la planta de Arauco en Valdivia, región de Los Ríos hasta Coyhaique (898 Km).



**Figura 11:** Total de emisiones de la etapa A4 del ACV. Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de construcción se puede apreciar que la diferencia de emisiones, entre el edificio Tamango caso base 202,49 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> y Tamango equivalente en madera masiva 208,95 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> es mínima, siendo de 3% menores las emisiones de Tamango caso base. En contraste las emisiones asociadas a Tamango equivalente en hormigón armado 297,36 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> al compararlo con Tamango caso base hay una diferencia de 94,87 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> siendo un 32% mayor en las contribuciones de emisiones GEI (Figura 12). Esto se debe principalmente a la cantidad de desperdicio que se genera en la preparación del hormigón, aumentando las emisiones asociadas a la etapa de construcción en comparación a la madera masiva la cual al ser elaborada en fábricas prácticamente no genera desperdicios en obra.

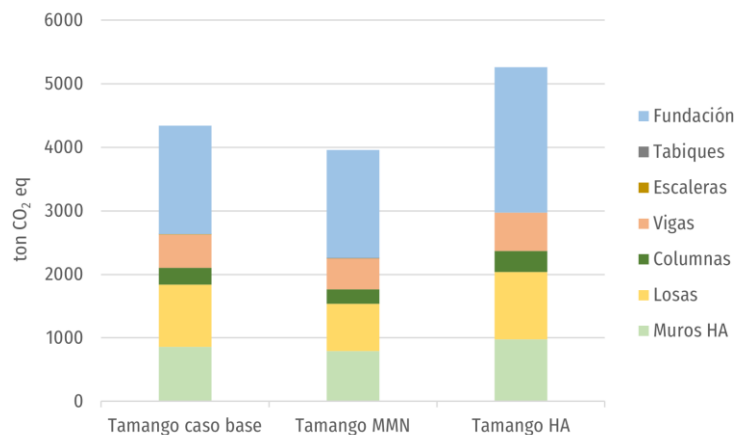




**Figura 12:** Total de emisiones de la etapa A5 del ACV. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4. Balance global de emisiones (A1-A5).

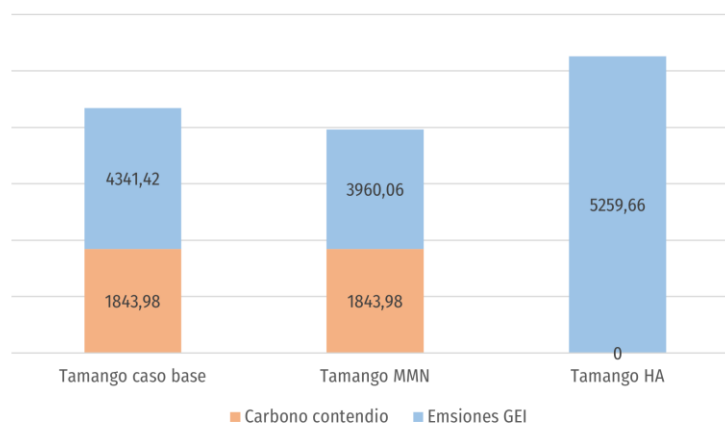
Como se puede apreciar en la (Figura 13) en las tres versiones del edificio Tamango, el componente que posee mayor porcentaje de emisiones asociadas corresponde a las fundaciones de hormigón, lo que en el caso de Tamango caso base equivale al 39,26% de las emisiones GEI; un 43,04% del total de las emisiones en Tamango equivalente en madera masiva y en Tamango equivalente en hormigón armado equivale al 43,52% de contribuciones en las emisiones GEI.



**Figura 13:** Total de emisiones por elementos estructurales. Fuente: Elaboración propia.

En Tamango caso base el orden de contribuciones de cada elemento corresponde a Fundaciones (39,26%), losas (22,51%), muros (19,85%) y vigas (12,07%). En el caso de Tamango equivalente en madera masiva las fundaciones (43,04%), muros (20,08%), losas (18,78%) y las vigas (12,12%). Y en el caso de Tamango equivalente en hormigón armado las fundaciones con (43,52%), losas (20,12%), muros (18,56%) y las vigas (11,51%). Estos datos corresponden a las emisiones asociadas a cada categoría de elemento estructural por ejemplo (Tamango caso base el elemento de vigas considera las vigas de madera masiva y las de hormigón).

En la siguiente figura se logra apreciar la cantidad de emisiones totales de cada versión proyectada del edificio Tamango, incluyendo el carbono incorporado en el caso de Tamango caso base y Tamango equivalente en madera masiva nacional (Figura 14). Esto principalmente asociado al carbono capturado por los elementos estructurales de madera masiva. Al hacer una comparativa entre Tamango caso base 4341,42 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> y Tamango equivalente en hormigón armado 5259,66 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>, se logra apreciar que la diferencia de emisiones GEI asociadas corresponde a 918,24 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> esto se atribuye a la disminución de emisiones que aporta Tamango caso base, contemplando el uso de madera masiva en remplazo del hormigón convencional en la construcción.



**Figura 14:** Total de emisiones y bio carbono por edificio, Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran la diferencia en las emisiones GEI en las etapas de ciclo de vida considerando las etapas (A1-A5) en donde la mayor cantidad de emisiones provienen de los módulos (A1-A3) en el caso de las tres versiones proyectadas. Al centrarnos en la cantidad general de emisiones los resultados demuestran variaciones en el caso de Tamango caso base y Tamango equivalente en madera nacional (Figura 16). Esto se debe principalmente al uso de madera masiva, debido a que la madera además de contar con un factor de emisión también posee un factor de bio-carbono o carbono contenido, el cual aporta a la absorción de CO<sub>2</sub> en la zona donde crecen los árboles (materia prima). Esto no ocurre en el caso de Tamango equivalente en hormigón armado debido a que las materias primas no absorben CO<sub>2</sub> para su desarrollo.

El hecho de utilizar madera masiva para elementos estructurales en el caso de Tamango caso base y Tamango equivalente en madera nacional logra hacer la diferencia en las cantidades de emisiones que se emiten en su ciclo de vida, por otro lado una vez que finaliza el ciclo de vida útil los elementos en madera masiva pueden ser tratados en centros de reciclaje o ser utilizados como sustitutos de combustión esto permite evitar la liberación de carbono contenido.

## 5.5. Recomendaciones de diseño

- Reducir la cantidad de subterráneos debido a la cantidad de m<sup>3</sup> que aporta a las emisiones GEI.
- Evitar sobredimensionar el espesor de los muros de hormigón en los pisos superiores para disminuir la cantidad de emisiones asociadas a este material.
- Reemplazar materiales en el caso del nivel 1 y 2 que están proyectados en hormigón, se deberían de proyectar en elementos de madera masiva para aumentar el porcentaje de material utilizado.
- Reducir el espesor de las sobrelosas a un nivel mínimo para ubicar el sistema de calefacción (losa radiante).

## 6. Conclusiones

Al realizar el análisis de ciclo de vida se logra obtener resultados sobre las emisiones GEI de los edificios que se plantean para el estudio, en este caso el edificio Tamango debido a la innovación de utilizar elementos estructurales de madera masiva para su construcción. El estudio se enfoca en las emisiones de las etapas A1-A5; extracción materias primas, transporte extracción materias primas, manufactura productos, transporte de productos y equipamiento y construcción e instalación. En cuanto a los diseños de los edificios, Tamango caso base y Tamango equivalente en madera masiva nacional, la madera masiva representa un 40% de la masa total de los edificios. En el caso de Tamango equivalente en HA el hormigón representa un 100% de la masa.

El aporte total de emisiones asociadas a Tamango caso base corresponde a 4341,42 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>, en el caso de Tamango equivalente en madera masiva nacional 3960,06 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> y en el caso de Tamango equivalente en hormigón armado es de 5259,66 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>. Al comparar la diferencia de emisiones en el caso de Tamango caso base y Tamango equivalente en hormigón armado, Tamango caso base logra reducir en un 17% las emisiones, equivalente a 918,24 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>. Esto debido principalmente al uso de madera masiva en reemplazo del hormigón armado en elementos estructurales.

En el edificio Tamango caso base además de aportar con emisiones, también posee emisiones negativas las cuales equivalen a 1843,98 ton CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup>. Estas emisiones se denominan carbono contenido y provienen de los elementos estructurales de madera masiva en el caso del hormigón armado este carbono contenido no existe, lo cual representa una diferencia entre elementos estructurales, junto con esto, se puede comprender una ventaja en el caso de la madera masiva debido que además de contar con un factor de emisiones menor que el hormigón armado, posee un factor de carbono contenido el cual ayuda a la reducción de carbono en el medio ambiente el cual no será liberado hasta el fin de la vida útil del edificio.

## Referencias

- 2022.10.20. *SDLM Desafíos y desempeño SV AS .pdf* - Google Drive. (n.d.). Retrieved May 14, 2023, from [https://drive.google.com/file/d/11LrLGQ5\\_QvDjiXZFQ1HEXB7M1ZLVLuXG/view](https://drive.google.com/file/d/11LrLGQ5_QvDjiXZFQ1HEXB7M1ZLVLuXG/view).
- Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI). (n.d.). Retrieved May 13, 2023, from <https://www.ncei.noaa.gov/>.
- Chen, Z., Gu, H., Bergman, R. D., & 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* 2020, Vol. 12, Page 4708, 12(11), 4708. <https://doi.org/10.3390/SU12114708>
- CLT LC (*cross laminated timber-low cost*). (n.d.).
- Concurso Innovación . (2022, July 1). CORMA. <https://www.madera21.cl/wp-content/uploads/2020/07/CLT-LC.pdf?x36899>
- Conoce el proyecto en madera que potencia la descentralización y es amigable con el medio ambiente en Chile. (n.d.). Retrieved May 31, 2023, from <https://www.cmpcmaderas.com/Pensemos-en-madera/conoce-el-proyecto-en-madera-que-potencia-la-descentralizaci243n-y-es-amigable-con-el-medio-ambiente-en-chile>.
- Crawford, R. H., & Cadorel, X. (2017). A Framework for Assessing the Environmental Benefits of Mass Timber Construction. *Procedia Engineering*, 196, 838–846. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.08.015>
- Dodewaard, P. van. (n.d.). *Dodewaard (2019) Smart tall wooden buildings with Cross Laminated Timber.pdf*. Retrieved June 22, 2023, from <https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Dodewaard+%282019%29+Smart+tall+wo+oden+buildings+with+Cross+Laminated+Timber.pdf>.
- El primer edificio en altura de madera contralaminada de América Latina se construye en la Patagonia chilena | ArchDaily en Español. (n.d.). Retrieved May 31, 2023, from <https://www.archdaily.cl/cl/992987/el-primer-edificio-de-madera-de-america-latina-se-construye-en-la-patagonia-chilena>.
- Espina A. (2000). *Procedimiento transporte*. <http://www.mininco.cl/sga/docs/pdf/fuentes/PR552.pdf>
- Espinoza, O., Buehlmann, U., & Laguarda, M. (n.d.). *Espinoza (2016) Identification of Research Areas to.pdf*. Retrieved June 22, 2023, from [https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Espinoza+\(2016\)+Identification+of+Resear+ch+Areas+to.pdf](https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Espinoza+(2016)+Identification+of+Resear+ch+Areas+to.pdf).
- Felmer, G., Morales-Vera, R., Astroza, R., González, I., Puettmann, M., & Wishnie, M. (2022). A Lifecycle Assessment of a Low-Energy Mass-Timber Building and Mainstream Concrete

- Alternative in Central Chile. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 1249, 14(3), 1249.  
<https://doi.org/10.3390/SU14031249>
- Finch, G. (n.d.). *Finch (2016) High-Rise Wood Building Enclosures .pdf*. Retrieved June 22, 2023, from [https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Finch+\(2016\)+High-Rise+Wood+Building+Enclosures+.pdf](https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Finch+(2016)+High-Rise+Wood+Building+Enclosures+.pdf).
- García Ochoa, J. A., Quito Rodríguez, J. C., & Perdomo Moreno, J. A. (2020). *Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente*. Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Ingeniería Civil. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/16031>
- Global Warming Potentials (IPCC Second Assessment Report) | CMNUCC*. (n.d.). Retrieved May 31, 2023, from <https://unfccc.int/es/node/10775>.
- Glosario: Potencial de calentamiento global*: (n.d.). Retrieved May 31, 2023, from <https://www.greenfacts.org/es/glosario/pqrs/potencial-calentamiento-global.htm>.
- Gonzalo Hernández, A. :, & Elgueta, P. (n.d.). “*Fortalecimiento de capacidades tecnológicas del Instituto Forestal para el desarrollo de la Industria Secundaria de la Madera, a través de bienes públicos orientados al sector de la construcción*” *Financia: CORFO*.
- Heräjärvi, H. (2019). Wooden buildings as carbon storages–Mitigation or oration? *Wood Material Science and Engineering*, 14(5), 291–297.  
<https://doi.org/10.1080/17480272.2019.1635205>
- Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2018). Carbon emission of global construction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1906–1916.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.06.001>
- ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia*. (n.d.). Retrieved May 13, 2023, from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>.
- ISO 14044:2006(es), Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Requisitos y directrices*. (n.d.). Retrieved May 13, 2023, from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>.
- Juárez Montilla Aula, C., & Dolores García Alonso, M. (n.d.). *Madera vs. hormigón: fortalezas y debilidades en su uso estructural*.
- La madera como material para la construcción: mitos, realidades y oportunidades instituto forestal 2021*. (n.d.).
- Li, H., Wang, B., Wei, P., & Wang, L. (n.d.). *Li et al (2019) Cross-laminated Timber (CLT) in China A State-of-the-Art.pdf*. Retrieved June 22, 2023, from [https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Li+et+al+\(2019\)+Cross-laminated+Timber+\(CLT\)+in+China+A+State-of-the-Art.pdf](https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Li+et+al+(2019)+Cross-laminated+Timber+(CLT)+in+China+A+State-of-the-Art.pdf).

- Liu, Y., Guo, H., Sun, C., & Chang, W. S. (2016). Assessing Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Material for Mid-Rise Residential Buildings in Cold Regions in China—A Life-Cycle Assessment Approach. *Sustainability* 2016, Vol. 8, Page 1047, 8(10), 1047. <https://doi.org/10.3390/SU8101047>
- Lolli, N., Fufa, S. M., & Kjendseth Wiik, M. (2019). An assessment of greenhouse gas emissions from CLT and glulam in two residential nearly zero energy buildings. *Wood Material Science and Engineering*, 14(5), 342–354. <https://doi.org/10.1080/17480272.2019.1655792>
- Nakano, K., Karube, M., & Hattori, N. (2020). Environmental Impacts of Building Construction Using Cross-laminated Timber Panel Construction Method: A Case of the Research Building in Kyushu, Japan. *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 2220, 12(6), 2220. <https://doi.org/10.3390/SU12062220>
- Nocera, F., Gagliano, A., & Detommaso, M. (2018). Energy performance of cross-laminated timber panel (X-Lam) buildings: A case study. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 5(3), 175–182. <https://doi.org/10.18280/MMEP.050307>
- Panojevic, D., & Svensson, E. (n.d.). *Panojevic & Svenson (2019) A Life Cycle Assessment of the Environmental Impacts of Cross-Laminated Timber.pdf*. Retrieved June 22, 2023, from [https://www.dropbox.com/home/CLT/Emisiones%20ciclo%20de%20vida?preview=Panojevic+%26+Svenson+\(2019\)+A+Life+Cycle+Assessment+of+the+Environmental+Impacts+of+Cross-Laminated+Timber.pdf](https://www.dropbox.com/home/CLT/Emisiones%20ciclo%20de%20vida?preview=Panojevic+%26+Svenson+(2019)+A+Life+Cycle+Assessment+of+the+Environmental+Impacts+of+Cross-Laminated+Timber.pdf).
- Passarelli, R. (n.d.). *Passarelli (2018) The environment impact of reused CLT WTCE.pdf*. Retrieved June 22, 2023, from [https://www.dropbox.com/home/CLT/Emisiones%20ciclo%20de%20vida?preview=Passarelli+\(2018\)+The+environmentl+impact+of+reused+CLT+WTCE.pdf](https://www.dropbox.com/home/CLT/Emisiones%20ciclo%20de%20vida?preview=Passarelli+(2018)+The+environmentl+impact+of+reused+CLT+WTCE.pdf).
- Patrocinante, P., Juan, M., Schwenk, M., De, C., De, E., & Armado, H. (n.d.). *Universidad del bio-bio "comparación de la huella de carbono en la*.
- Pierobon, F., Huang, M., Simonen, K., & Ganguly, I. (2019). Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest. *Journal of Building Engineering*, 26. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100862>
- Ramage, M., Foster, R., Smith, S., Flanagan, K., & Bakker, R. (2017). Super Tall Timber: design research for the next generation of natural structure. *Journal of Architecture*, 22(1), 104–122. <https://doi.org/10.1080/13602365.2016.1276094>
- Ramage, M. H., BurrIDGE, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P. F., & Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 333–359. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.09.107>

Röck, M., Saade, M. R. M., Balouktsi, M., Rasmussen, F. N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T., & Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.114107>

Sierra, A. (2018, April 4). *El ciclo de la madera en la construcción*. Madera21. [https://madera.uc.cl/images/Ciclo\\_de\\_vida\\_de\\_la\\_madera/ciclo-madera-construccion.pdf](https://madera.uc.cl/images/Ciclo_de_vida_de_la_madera/ciclo-madera-construccion.pdf)

*TallWood (2019) Mass timber case studies series.pdf*. (n.d.). Retrieved June 22, 2023, from [https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Tallwood+\(2019\)+Mass+timber+case+studies+series.pdf](https://www.dropbox.com/home/CLT?preview=Tallwood+(2019)+Mass+timber+case+studies+series.pdf).

## Anexos

Disponibles en:

[https://drive.google.com/drive/folders/1KVBZENp2pC991mErCt3jEi\\_rEQcoW59m?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1KVBZENp2pC991mErCt3jEi_rEQcoW59m?usp=sharing)

- Anexo 1: Tablas cubicación de los materiales.

**Tabla 1:** Edificio Tamango caso base

Elemento estructural	Material	m <sup>3</sup>
Muros	Hormigón armado	1586,92
Pilares	Hormigón armado	232,84
Pilares en V	Hormigón armado	28,42
Vigas	Hormigón armado	644,17
Subterráneos	Hormigón armado	3400,54
Sobrelosas 4cm	Hormigón lidero	1117,47
Pilares	Madera Micro Laminada	277,05
Vigas	Madera Micro Laminada	339,5
Losas	Madera Contra Laminada	1719,47
Divisores de departamentos	Madera Aserrada	41,46
Escaleras	Madera Laminada	26,31
	<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>5972,15</b>

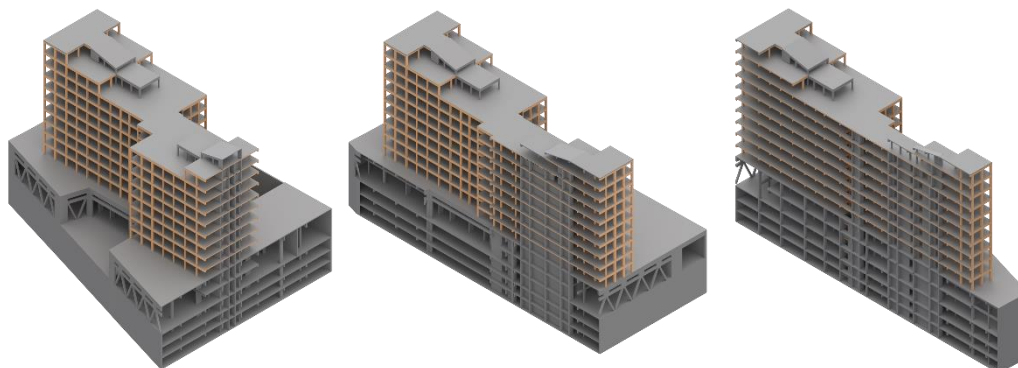
**Tabla 2:** Edificio Tamango madera masiva nacional

<b>Elemento Estructural</b>	<b>Material</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
Muros	Hormigón armado	1586,92
Pilares	Hormigón armado	232,84
Pilares en V	Hormigón armado	28,42
Vigas	Hormigón armado	644,17
Subterráneos	Hormigón armado	3400,54
Sobrelosas 4 cm	Hormigón ligero	1117,47
Pilares	Madera Micro Laminada	277,05
Vigas	Madera Micro Laminada	339,5
Losas	Madera Contra Laminada	1719,47
Divisor de departamentos	Madera aserrada	41,46
Escaleras	Madera Laminada	26,31
	<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>6013,61</b>

**Tabla 3:** Edificio Tamango hormigón armado

<b>Elemento Estructural</b>	<b>Material</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
Muros	Hormigón armado	1586,92
Pilares	Hormigón armado	509,89
Pilares en V	Hormigón armado	28,42
Vigas	Hormigón armado	983,67
Subterráneos	Hormigón armado	3400,54
Sobrelosas 4 cm	Hormigón armado	0
Losas	Hormigón armado	1719,47
Escaleras	Hormigón armado	26,31
	<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>4854,68</b>

- Anexo 2: Renders del edificio Tamango.



**Anexo 2:** Visualizaciones del modelo 3D, Fuente: Elaboración propia.