



Medición y análisis de la Huella de Carbono asociado a la construcción del Centro de Energía de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Gabriel Eduardo Urrutia Ortiz¹, María Elisa Neubauer R², Claudio Oyarzo³

RESUMEN:

Es evidente que el planeta está sufriendo un cambio climático en el transcurso de los años, esto es por varios factores, uno de los más importantes es el calentamiento global, debido a las emisiones de dióxido de carbono liberadas al ambiente por acción directa o indirectamente por la actividad humana.

El área de la construcción es uno de los grandes generadores de emisiones de gases de efecto invernadero en todo su ciclo de vida. Por consecuencia, este estudio realizado de la construcción del Centro de Energía de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, deja en evidencia que la cantidad de dióxido de carbono equivalente liberado en su ciclo de vida es de 225 tCO₂eq, como consecuencia, se observa que los materiales más contaminantes dentro de la construcción del edificio son el hormigón y el acero. Determinando de este modo nuevas alternativas de materiales que sean menos contaminantes o disponer de medidas de mitigación (árboles).

ABSTRACT:

It is evident that the planet is suffering from climate change over the years, this is due to several factors, one of the most important is global warming, due to carbon dioxide emissions released into the environment by direct or indirect action by human activity.

The construction area is one of the great generators of greenhouse gas emissions throughout its life cycle. Consequently, this study carried out on the construction of the Energy Center of the Catholic University of the Most Holy Conception, shows that the amount of carbon dioxide equivalent released in its life cycle is 225 tCO₂eq, as a consequence, it is observed that the most polluting materials within the construction of the building are concrete and steel. Thus determining new alternatives of materials that are less polluting or have mitigation measures (trees).

¹ Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, UCSC, CHILE, gurrutia@ing.ucsc.cl

² Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, CHILE, maría.neubauer@ucsc.cl

³ Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, CHILE, coyarzo@ucsc.cl



1. INTRODUCCION

El clima del planeta ha experimentado cambios constantes a lo largo del tiempo geológico, entre ellos, fluctuaciones significativas de las temperaturas medias globales, sin embargo, el cambio climático evidenciado actualmente, se ha convertido en uno de los mayores retos que la humanidad tiene que enfrentar, pues corresponde a un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables”, (CMNUCC, s.f.).

La atmósfera está compuesta por diversos gases que, en la proporción adecuada, cumplen su cometido. Sin embargo, las actividades antrópicas han provocado un aumento de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), lo que provoca mayor retención de calor entre la atmósfera y la superficie terrestre, provocando que la temperatura media del planeta aumente más de lo normal y se produzca lo que se conoce como Calentamiento Global o Cambio Climático (acciona, s.f.). El cambio climático no sólo conlleva un aumento de las temperaturas, sino también fenómenos meteorológicos extremos, la elevación del nivel del mar y cambios en las poblaciones y los hábitats de flora y fauna silvestres, entre otros efectos (Amnistia Internacional, s.f.).

Los GEI son emitidos mediante la quema de combustibles fósiles, la agricultura, el uso de la tierra y otras actividades industriales y domésticas realizadas con el objetivo de suplir necesidades básicas. Los GEI se encuentran en su nivel más alto de los últimos 800.000 años, lo que significa que el cambio climático se está produciendo a una velocidad más alta, que la capacidad de adaptación de los seres vivos (Amnistia Internacional, s.f.).

Con la aprobación del histórico acuerdo de París en la COP21 sobre el cambio climático, el sector construcción, que representa a través de todo su ciclo de vida un tercio del uso global de energía y un 20% de las emisiones de GEI, se ha identificado como una industria clave a transformar, para lograr los objetivos globales de mitigación (Bascou, s.f.).

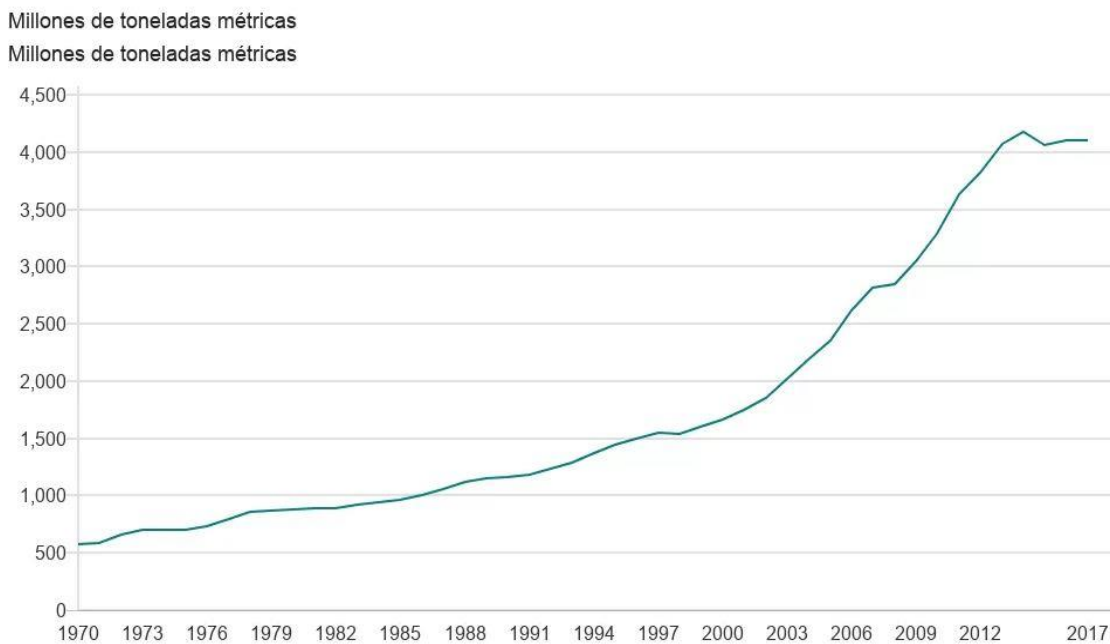
Con el objetivo de cuantificar las emisiones de GEI emitidas a la atmósfera a través de un proceso o actividad, se generó un indicador conocido como Huella de Carbono (HdC), que permite, además, identificar procesos o materiales que generen menos emisiones.

Este estudio tiene como objetivo general medir la HdC generada por la construcción del nuevo Centro de Energía de la Universidad Católica de la Santísima Concepción. Por su parte, entre los objetivos específicos se considera identificar los materiales con mayor emisión de CO₂, proponer medidas de mitigación e identificar otros materiales constructivos que generen menos emisiones al ambiente.

2. MARCO TEÓRICO

La construcción es uno de los mayores consumidores de materias primas. El sector cementero es responsable de alrededor del 5% de las emisiones de CO₂, principal gas productor del efecto invernadero y cambio climático. El hormigón es el material de construcción más empleado en el mundo. Cada año, la industria del hormigón emplea 1,6 billones de toneladas de cemento. Cada tonelada de cemento en su fabricación emite 1 tCO₂ a la atmósfera. Además, durante el proceso de construcción es habitual el empleo de maquinaria pesada que genera la mayor cantidad de emisiones de CO₂. El transporte de los materiales al lugar constituye un 6-8% de las emisiones totales de GEI para un proyecto (GrowingBuildings, s.f.).

Figura 1 se observa el uso del cemento por año y los países con mayor fabricación de cemento.



Source: USGS. Nota: Las cifras de 2016 y 2017 son estimaciones.

B|B|C

Figura 1: Uso del cemento en millones de toneladas métricas por año. Fuente: (Rodgers, 2018)

En Figura 2, se observa los países de mayor producción de cemento en los últimos años.

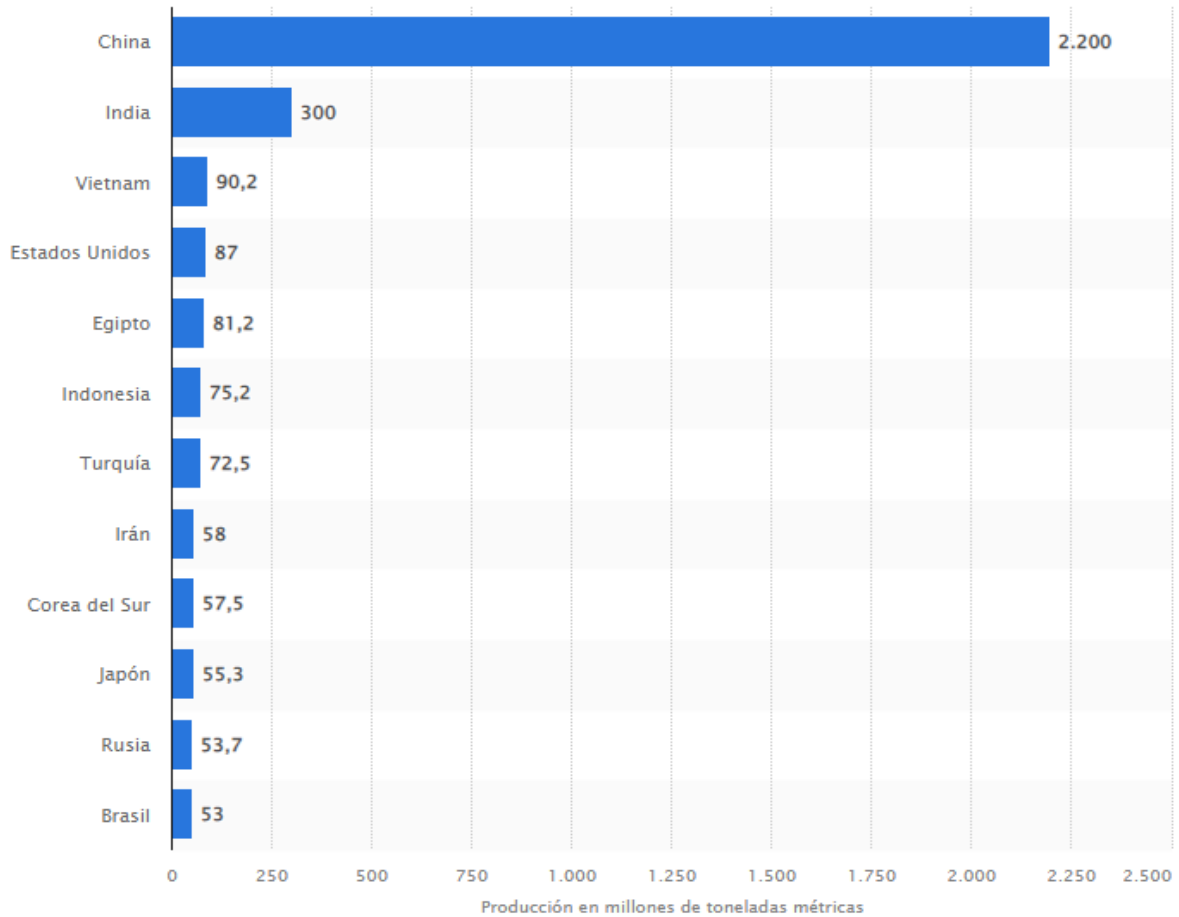


Figura 2: Principales países productores de cemento en los últimos años. Fuente: (Fernandez, 2022).

Otro de los materiales ocupados en la construcción es el acero. Este se fabrica mezclando minerales vertidos en un alto horno. La industria mundial del acero genera el 5,2% de las emisiones anuales de GEI, alcanzando una media de 1,8 tCO₂eq por tonelada de acero producido. Por la relevancia de sus emisiones en el mercado mundial, y para mejorar su desempeño ambiental, la Asociación Mundial del Acero adoptó la HdC como un indicador de medición y control del impacto de sus medidas de mitigación (López, 2015).

En la Figura 3 se presentan algunos materiales ocupados en la construcción con su respectiva emisión de kgCO_2/m^2 .

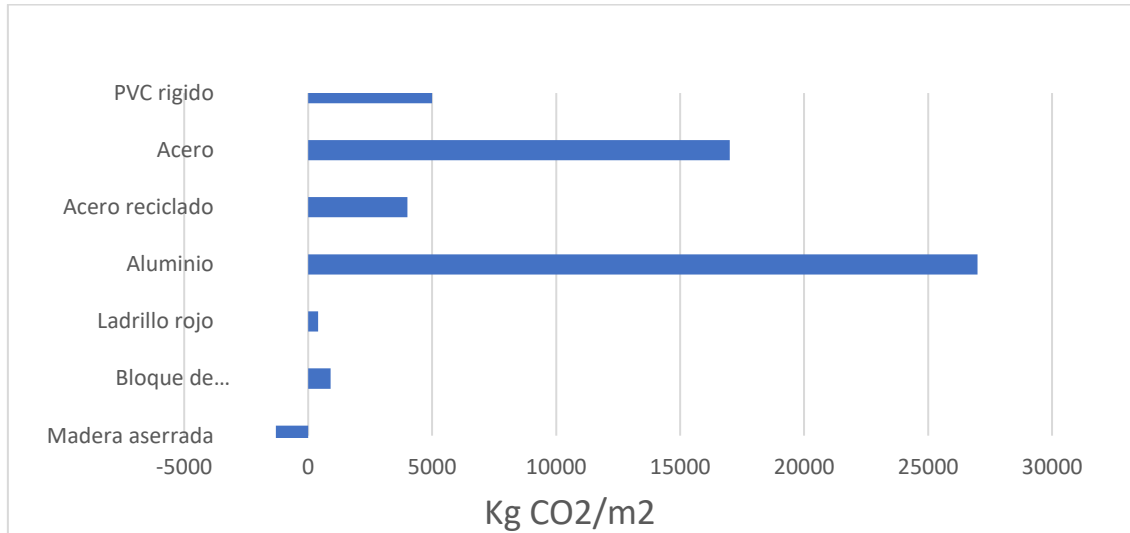


Figura 3: Comparación del CO_2 producido por diferentes materiales. Fuente (Forestales latinoamericanos, s.f.).

El sector de la construcción comercial y residencial representa el 39% del CO_2 emitido a la atmósfera, y genera el 30% de los residuos sólidos y el 20% de la contaminación de las aguas. Por lo que se concluyó que la mitad del CO_2 expulsado a la atmósfera está relacionado con la construcción de edificios a lo largo de todas sus fases: construcción, uso y posterior demolición. En consecuencia, el sector de la construcción tiene que desempeñar un papel importante en la reducción de la amenaza del cambio climático (GrowingBuildings, s.f.).

Es por esto, que la HdC nace como un indicador para cuantificar el impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático, más allá de los grandes emisores (Ministerio del Medio Ambiente, s.f.).

La HdC corresponde a la cantidad de GEI que producen las personas al fabricar productos, al consumir energía, usar transporte, comprar artículos, alimentarse, entre otras. La HdC está expresada en CO_2eq , es decir, unidades de carbono equivalente. Esta expresión toma en cuenta tanto el CO_2 como los otros GEI que participan en el calentamiento global (Amffal, 2022).

En Chile, según el Ministerio del Medio Ambiente, existen diferentes enfoques para poder cuantificar la HdC, las cuales son:

- **Enfoque corporativo:** Evalúa la huella de carbono de una organización durante un periodo de tiempo establecido, normalmente un año calendario.
- **Enfoque Personal:** Evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero directas e indirectas de una persona en un período de tiempo determinado. Puede usarse como un indicador de la incidencia de las acciones personales al fenómeno del cambio climático.
- **Enfoque en Eventos:** Evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso de electricidad, transporte de asistentes, preparación de alimentos, insumos de papelería, entre otras fuentes de emisiones generadas durante la planificación y realización de un evento.

- **Enfoque Territorial:** Evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero de un área específica cuyos límites establecidos corresponden a los geográficos o político-administrativos.
- **Enfoques específicos por Industria:** Evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero de un sector productivo específico, determinando su impacto y contribución al fenómeno del cambio climático.
- **Enfoque de ciclo de vida de un producto o servicio:** Evalúa la HdC de productos (bienes y/o servicios), a lo largo de toda la cadena de valor incluyendo, en algunos casos, el uso o consumo de éstos y el término de su vida útil.

Para este caso en particular, se estudiará el enfoque de ciclo de vida, que corresponde a una herramienta de gestión medioambiental, cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo (Haya, 2016). El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que es regulado por las normativas ISO 14040 e ISO14044, es la herramienta utilizada para realizar el estudio “de la cuna a la tumba”, es decir, es una técnica que permite determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto, compilando un inventario de las entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio (ISO 14040, 2006).

En la Figura 4 se representa un esquema del ciclo de vida de una vivienda.

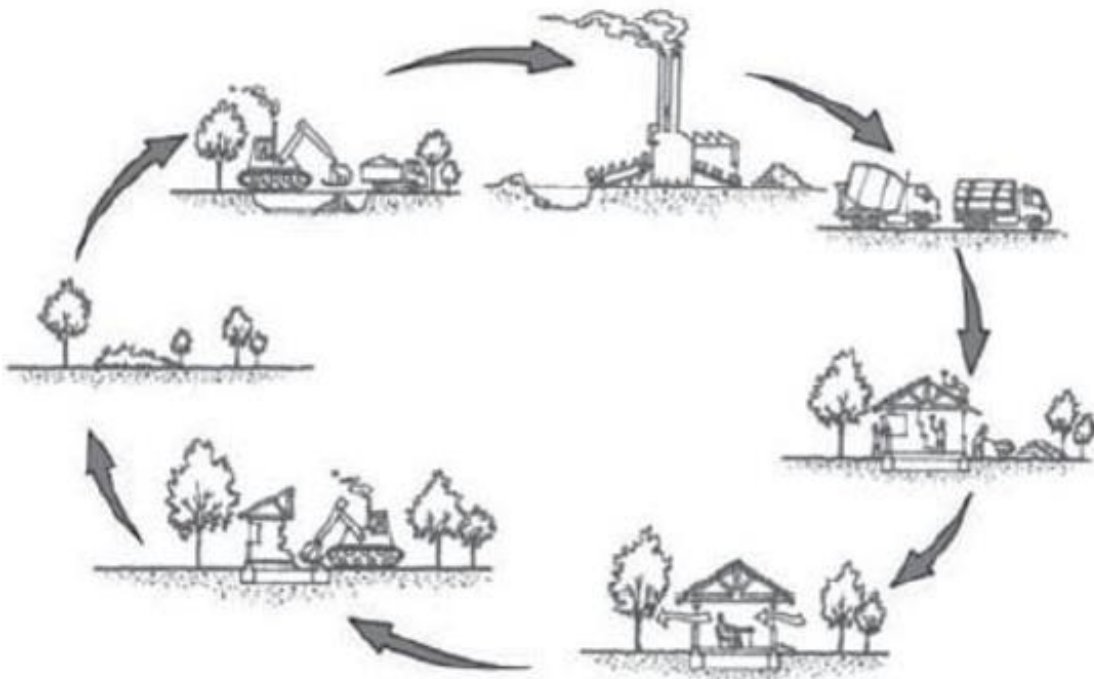


Figura 4: Esquema del ciclo de vida de una vivienda. Fuente: Bustamante,2009.



Análisis del ciclo de vida y gestión huella de carbono.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad. El ciclo de vida de un producto considera toda la historia del producto desde su origen como materia prima hasta su final como residuo. Además, se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materia prima, manufactura, transporte a mercados, distribución, uso, etc. (Manchester University, 2011).

El ACV ayudar a

- la identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida,
- la aportación de información a quienes toman decisiones en la industria, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales (por ejemplo, para la planificación estratégica, el establecimiento de prioridades, el diseño y rediseño de productos o procesos),
- la selección de los indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición, y
- el marketing (por ejemplo, implementando un esquema de etiquetado ambiental, elaborando una reivindicación ambiental, o de una declaración ambiental de producto).

El ACV trata los aspectos e impactos ambientales potenciales (por ejemplo, la utilización de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones y vertidos) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, utilización, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final.

Un estudio de ACV tiene 4 etapas, correspondientes a:

- a) fase de definición del objetivo y el alcance,
- b) fase de análisis del inventario,
- c) fase de evaluación del impacto ambiental, y
- d) fase de interpretación.

El alcance de un ACV, incluyendo los límites del sistema y el nivel de detalle, depende del tema y del uso previsto del estudio. La profundidad y amplitud del ACV puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de un ACV en particular (Platform, s.f.).

La fase de ACV corresponde al inventario ciclo de vida (fase ICV) es la segunda fase del ACV. Es un inventario de los datos de entrada/salida en relación con el sistema bajo estudio. Implica la recopilación de los datos necesarios para cumplir con los objetivos del estudio definido (Platform, s.f.).

La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) es la tercera fase del ACV. El objetivo de la EICV es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del inventario del ciclo de vida (ICV) de un sistema del producto a fin de comprender mejor su importancia ambiental (Platform, s.f.).



La interpretación del ciclo de vida es la fase final del ACV, en la cual se resumen y discuten los resultados del ICV o de la EICV o de ambos como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos (Platform, s.f.).

Hay casos en los cuales el objetivo de un ACV se puede satisfacer desarrollando únicamente un análisis de inventario y una interpretación. Se hace referencia a esto como un estudio de ICV (Platform, s.f.).

Gestión de la Huella de Carbono (HdC)

Si bien la HdC entrega un indicador numérico, la mayoría de las organizaciones a nivel mundial han avanzado en la gestión de su huella en un ciclo constante que implica según el Ministerio del Medio Ambiente:

- **Análisis del estado inicial:** es de suma importancia que las organizaciones conozcan los objetivos internos antes de comenzar con el proceso de cuantificación, ya que este análisis permite determinar el enfoque de la HdC de su gestión.
- **Cuantificación de la HdC :** elaboración de un inventario de GEI mediante la selección del método de cálculo, identificación de las fuentes de emisiones, recolección de datos, elección de factores de emisión, y aplicación de una herramienta de cálculo para obtener las emisiones de GEI (en toneladas de CO₂ equivalente) y conocer las principales fuentes de emisión.
- **Análisis de riesgos y oportunidades:** una vez conociendo el valor numérico de la HdC, y sus principales fuentes de emisión, es posible realizar un análisis de los riesgos y oportunidades que ésta representa con la finalidad de avanzar en la eficiencia de los procesos y el mejoramiento del uso de recursos.
- **Plan de mitigación:** consiste en un grupo de medidas y estrategias que tienen por finalidad evitar o disminuir las emisiones de GEI a la atmósfera, ya sea mediante reducciones directas (por ejemplo, proyectos de eficiencia energética, cambios de hábitos, reducción en consumo de combustibles e insumos, mejoras en la logística, gestión de los residuos, entre otras) y/o compensación mediante la compra de bonos de carbono. La primera y más efectiva opción de reducción de la HdC es alcanzar el aumento de la eficiencia en la producción.
- **Comunicar:** es importante dar a conocer las nuevas metas de la empresa, así como el logro de los diferentes objetivos propuestos y las acciones tomadas demostrando. Esta es una forma de demostrar el compromiso de la organización con el medio ambiente y la sustentabilidad. Para la confiabilidad y credibilidad del proceso es importante que la organización evite caer en el greenwashing (lavado verde).

3. METODOLOGIA

Dentro de las metodologías se llevó a cabo una evaluación de la HdC de producto, la de mayor reconocimiento internacional es las Especificaciones para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de GEI de bienes y servicios (PAS 2050:2011) desarrollada por la BSI Group, (British Standards Institution) a petición del Gobierno del Reino Unido (Ministerio del Medio Ambiente, s.f.).

Por otra parte, la metodología propuesta por la ISO, 14040 (ISO, 2006a) promueve la metodología del ACV del producto como una técnica que fomenta el mejor entendimiento y establece los posibles impactos medioambientales asociados a productos (incluidos los servicios). La ISO 14040 define los principios y el marco de la metodología, siendo complementada por la ISO 14044 (2006b) que provee un detalle mayor en relación con los requerimientos y recomendaciones (López, 2015).

3.1 Actividad desarrollada

- I. Una vez conocido el factor de emisión de cada material por medio del ACV (valores encontrados en Anexo 1), se procedió al cálculo de HdC, de este modo se logró encontrar la cantidad de CO₂ emitida por la construcción del Centro de Energía de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- II. Por consecuencia del cálculo realizado anteriormente se procedió a evaluar los materiales que generaron mayor CO₂ dentro de la edificación.
- III. Para mitigar la contaminación generada se evaluó la cantidad de CO₂ que puede absorber un árbol nativo, el cual se dividió por el resultado de toda la contaminación generada, para así, poder determinar el número de árboles necesarios para poder mitigar las emisiones.
- IV. Se analizaron distintos tipos de materiales de construcción (con un factor de emisión de CO₂ menor) los cuales se disponen como alternativa constructiva con menos emisiones.

3.2 Procedimiento de Cálculo de Huella de Carbono

Se inicio el proceso del cálculo con un mapeo de todos los flujos asociados a la producción de la unidad funcional estudiada, y se desglosaron las cantidades asociadas a cada tipo de flujo usando como base el mapa del ciclo de vida del producto. Esto se puede realizar en el mismo mapa o utilizando un programa de procesamiento de datos en hojas de cálculo. Todos los flujos muestran las entradas y salidas en función de la unidad funcional. Considerando que los datos de actividad tienden a obtenerse de múltiples fuentes y a menudo en variedad de unidades de medida, paralelo al mapa de flujos, se deben verificar las disparidades en tipos de unidades llevándolas a un solo sistema de medida.



La HdC se determina multiplicando los datos de actividad por un factor de emisión unitario (EC.1), que recoge las emisiones de CO₂eq (o CO₂ Equivalente) por dato de actividad unitario, en concordancia con el PAS 2050:2011, donde “Datos de Actividad” se interpreta como cualquier cuantificable del proceso, y “Factor de Emisión” como el valor de conversión asociado en términos de KgCO₂eq por unidad de actividad.

DATOS DE ACTIVIDAD X FACTOR DE EMISION = HUELLA DE CARBONO EC.1

Se trata de un cálculo sencillo, donde la dificultad de este método está dada por la obtención de datos fidedignos vinculados a los mapas de procesos, más que a los cálculos.

Las etapas para realizar las mediciones son las siguientes:

1. Identificar cantidad de material: La primera etapa consiste en medir la cantidad de material utilizado, por lo cual se realizan los cálculos necesarios para la cuantificación de materias primas totales empleadas en la obra.
2. Factores de emisión: Posteriormente, se identifican y se asocian los valores de los factores de emisión a cada material en uso. Para realizar una correcta medición, se estudian las condiciones bajo las cuales los materiales son elaborados.
3. Conversión a tCO₂eq: Una vez completadas las etapas anteriores es posible calcular las tCO₂ producido por cada material, al multiplicar el factor de emisión correspondiente por la cantidad de cada material utilizado.
4. Sumatoria del total: Finalmente, se realiza una sumatoria del total de tCO₂eq liberado al ambiente, considerando cada resultado obtenido mediante la operación descrita en el paso anterior.

4. ALCANCE

El proyecto por evaluar se encuentra ubicado en Av. Alonso de Ribera #2850, Concepción, VIII Región, Chile. Coordenadas $36^{\circ}47'47.8''S$ $73^{\circ}03'26.8''W$. El edificio es parte de Universidad Católica de la Santísima Concepción y corresponde al nuevo Centro de Energía UCSC, en donde ofrece un espacio que albergará los distintos proyectos e iniciativas energéticas de la UCSC. Trata de una infraestructura de 400 m².

La Figura 4 muestra una imagen satelital de la ubicación del edificio.



Figura 4: Vista satelital del Centro de Energía UCSC. Fuente: Google Maps.

Para el presente estudio se realizó la contabilización (cubicación) de los distintos materiales ocupados para la construcción del Centro de Energía UCSC. En este caso se centró en obra gruesa y terminaciones, limitando a todo lo que es instalación eléctrica, proyecto alcantarillado de aguas servidas, sistema de climatización y obras externas para el cálculo de CO₂.

A continuación, se presenta una lista de las partidas de la obra y sus respectivos materiales, donde el detalle de la cubicación de los materiales de construcción usados se puede verificar en el Anexo 1, acompañada por el factor de emisión de CO₂ destinada a cada material. Los valores presentados de cubicación fueron extraídos de los planos estructurales de la obra y los factores de emisión dispuestos por *Medición y análisis de la Huella de Carbono asociado a la Construcción del nuevo edificio de Ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Muñoz, 2020.*



5. RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos del valor de la HdC de las distintas partidas de la obra del Centro de Energía UCSC y su respectivo total de emisiones generadas.

Tabla 1: Resultados de emisiones de CO₂ para las distintas partidas.

PARTIDAS	CANTIDAD Kgco2eq
Sello de fundación	3038
Fundaciones	20059
Muros y machones	49737,3
Pilares	300,9
Vigas y Cadenas	39192,3
Losa	47318,1
Muretes de H.A. rampa exterior	4831,4
Muretes y gradas H.A. escala exterior	597,2
Hormigones simples y sobrelosas	13217,1
Estructura de techumbre	8428
Cubierta	6837
Aislaciones e impermeabilización	4751,08
Hojalaterías	1289,5
Revestimientos interiores	5362,2
Tabiques no estructurales	10771,3
Cielos	1933,8
Pavimentos y pisos	3424,3
Ventanas y ventanales	2539,2
Vidrios	12,4
Puertas	33,6
Pinturas y acabados	1393,6
Total	225067

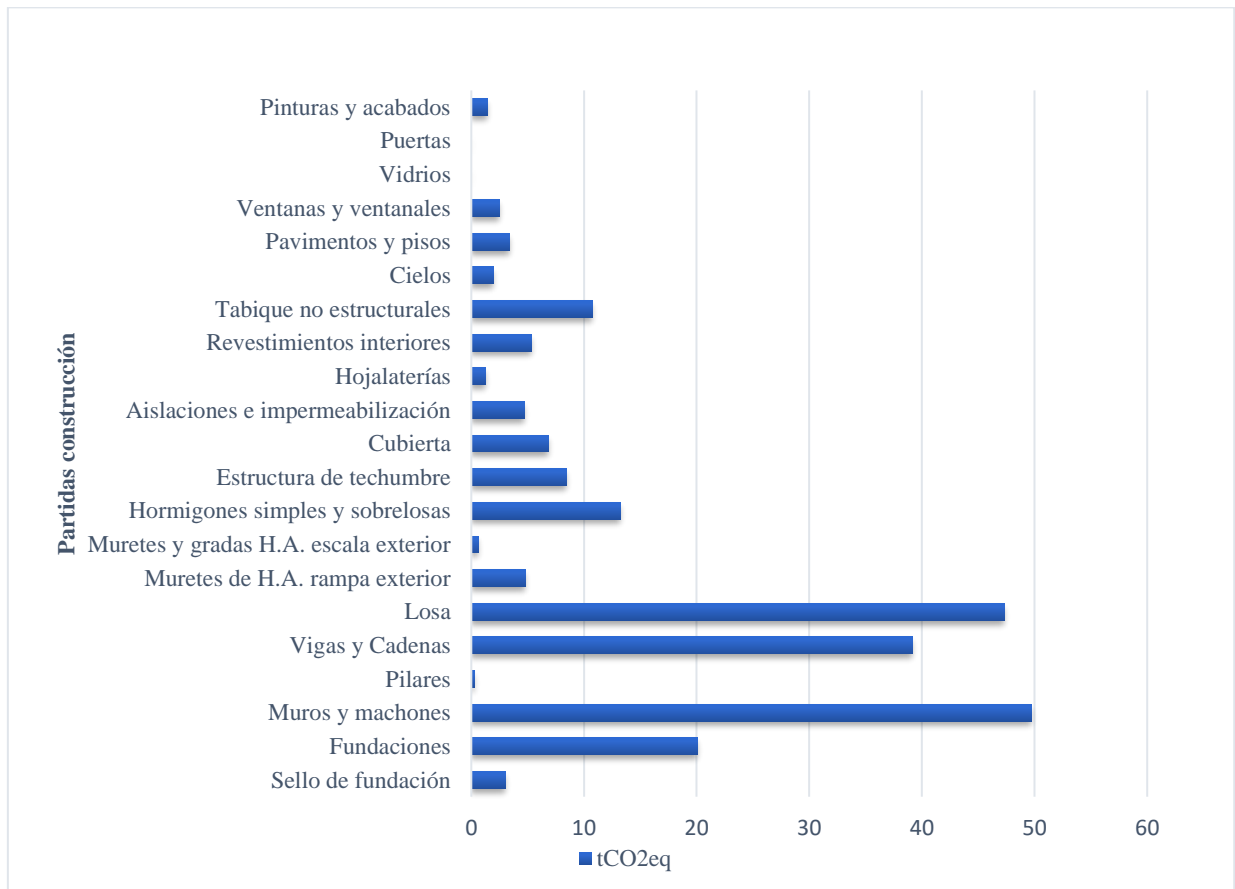


Figura 5: tCo₂eq para las distintas partidas. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5, destacan las partidas con mayor repercusión de emisiones, los que superan las 10 tCO₂eq. Las partidas con un alto grado de emisiones son: fundaciones, Muros y machones, vigas y cadenas, losas, hormigones simples, y tabiques no estructurales.

5.1. Emisiones de Obra gruesa y Terminaciones a continuación se presenta el porcentaje de emisiones, donde se determinan los materiales con mayor índice de emisiones de CO₂eq.

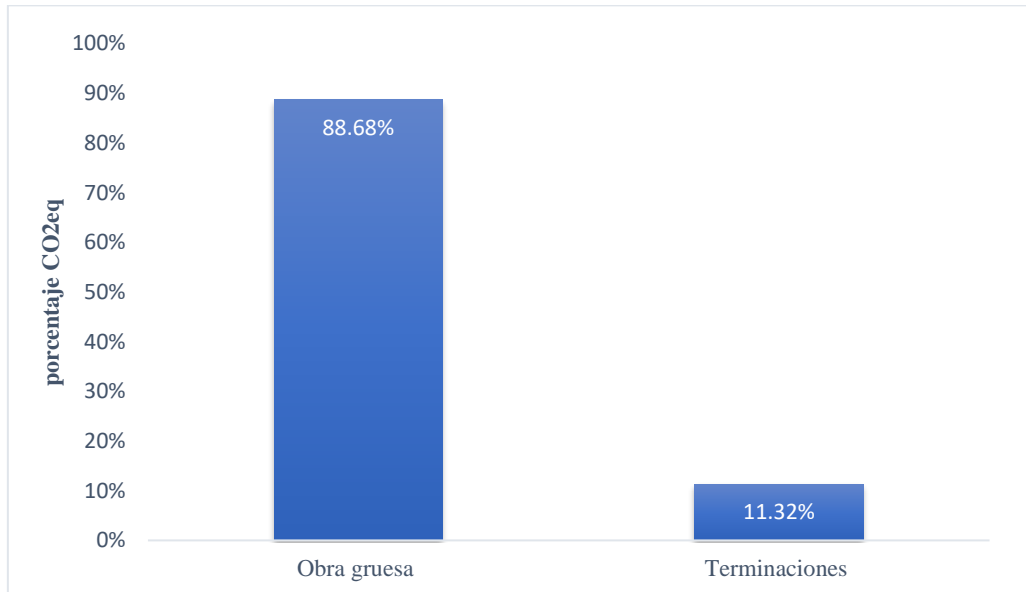


Figura 6: Porcentaje de emisiones obra gruesa y terminaciones. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6 se agruparon las diferentes partidas en obra gruesa y terminaciones, por lo cual, todo lo que es obra gruesa representa el 88,68% de las emisiones en la construcción del Centro de Energía UCSC.

En cuanto a la relevancia de los materiales considerados en obra gruesa, se presentan a continuación en Tabla 2. Siendo el hormigón y el acero los materiales con mayor porcentaje de emisiones equivalente.

Tabla 2: Materiales contaminantes obra gruesa. Fuente: Elaboración propia

Hormigón	90,3301	tCO ₂ eq	45%
Acero	87,9612	tCO ₂ eq	44%
Otros varios	21,30558	tCO ₂ eq	11%

5.2 Medidas de mitigación de emisión de GEI

Para poder mitigar las emisiones generada por la edificación del Centro de Energía UCSC, lo recomendable es la plantación de árboles, los que juegan un rol fundamental en la absorción del CO₂. Utilizando estándares del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), que determina cuánto CO₂ es capaz de absorber una especie, Conaf hizo un estudio que midió esta capacidad en los árboles chilenos, estableciendo que la especie de mejor rendimiento es el eucalipto, capaz de capturar 29,9 toneladas de CO₂ por hectárea en un año, seguido por la siempreverde y el pino radiata (Terram, 2012). De este modo, para poder mitigar la cantidad de CO₂ emitida por la edificación del centro de energía UCSC es necesario la plantación de 8 hectáreas de eucalipto en un año. Si bien el eucalipto consume una gran cantidad de agua, recurso escaso, los expertos aseguran que no se puede decir que el fomentar su plantación traiga un efecto negativo. (Terram, 2012). Por otro lado, un árbol nativo absorbe aproximadamente 15 KgCO₂ al año (Fundacion AQUAE, s.f.), por lo que es necesario para este caso plantar 15.005 árboles nativos en un año.

6. DISCUSION

Del presente estudio y los resultados obtenidos, se puede observar que las emisiones de CO₂ generadas por el Centro de Energía UCSC, evaluado mediante el ACV de un producto fue de 225 tCO₂eq liberados al medio ambiente. De este modo, también se observa que la cantidad de emisiones liberadas por la construcción del Centro de Energía UCSC es alta, siendo el área de construcción de aproximadamente 400m². Si esto se llevara a construcciones de mayor escala y usando los mismos materiales de construcción las emisiones generadas serian aún mayor. Es por este motivo, que se observa que el sector de la construcción genera el 30% de emisiones de GEI a nivel internacional según la cámara chilena de la construcción (Héctor Acuña, 2019), de este modo la industria de la construcción tiene que tomar nuevas medidas y/o formas para minimizar las emisiones.

Por otra parte, mediante la evaluación del presente estudio se evidencio que los materiales con mayor porcentaje de emisiones de CO₂ se encontraban en las partidas de obra gruesa, siendo el hormigón y el acero los materiales con mayores emisiones dentro de la construcción del Centro de Energía UCSC, lo que representan el 40% y 39% de CO₂eq dentro del total de emisiones de la obra evaluada. De este modo, por ejemplo, al producir un metro cubico de hormigón se libera al medio ambiente 296,3 KgCO₂eq, donde el principal componente del hormigón es el cemento, el cual es la fuente de aproximadamente el 8% de las emisiones de CO₂ del mundo, según el centro de estudios británico Chatham House. De la Figura 1, se puede observar que la producción de cemento ha aumentado en más de treinta veces desde 1950 y casi cuatro veces desde 1990, siendo China el país que genera la mayor cantidad de cemento según la Figura 2. A su vez, el acero genera 46 kgCO₂eq por Kg de acero, obteniendo 87,7 tCo₂eq aproximadamente para la construcción del Centro de Energía de la UCSC. Se estima que la industria del acero genera el 6,7% de las emisiones de GEI según Jorge Madías, gerente de empresa Metallon, Argentina.

Otra manera de disminuir las emisiones de CO₂ en la construcción del Centro de Energía UCSC es el cambio de material usado. Por consecuencia, se puede apreciar que la madera presenta una ventaja significativa frente a los materiales estructurales de mayor uso en Latinoamérica como son el hormigón y acero. La madera es el único material de construcción renovable, y que, durante el crecimiento del árbol, por cada m³ de madera que produce captura una 1tCO₂, liberando 700 kg de O a la atmósfera. Es decir, la madera es un material que absorbe CO₂ de la atmósfera en lugar de agregar (eligemadera. 2019), como se puede observar de la Figura 3, las emisiones de los distintos materiales, pero para la madera se observa que tiene valores negativos de emisiones de CO₂, por lo cual retiene CO₂ en su interior.

Es por esto que la madera como material de construcción presenta multitud de ventajas según *Madera21decorma*, algunas de las cuales se describen a continuación:

1. **Una nueva solución constructiva:** La madera contralaminada o CLT (Cross Laminated Timber) es uno de los principales desarrollos que ha traído a la madera de nuevo al centro de atención. El CLT está hecho de capas de madera blanda pegadas y presionadas juntas. A partir de esta pequeña sección de madera se forman grandes paneles estructurales (de alrededor de 50 cm de espesor) que son ligeros, estables y comparables en fuerza al acero y al ladrillo. De hecho, el arquitecto londinense, Alex de Rijke, describe a CLT como “el nuevo hormigón”.
2. **Prefabricación:** Las viviendas prefabricadas consiste en piezas de construcción fáciles de montar en sitio pero que se elaboran en fábricas, mediante procesos industriales que aseguran altos estándares de calidad.

3. **Velocidad:** Con la madera prefabricada, el tiempo que se tarda en construir una casa en el sitio es mucho más rápido que las casas tradicionalmente construidas (ladrillo estándar y construcción de bloques), que típicamente llevaría alrededor de siete a diez días, en lugar de semanas.
4. **Costo:** Aunque los costos varían dependiendo de la escala de un proyecto y donde se obtiene, por lo general se puede apostar que la madera será mucho más barata que los edificios de acero, las construcciones de madera son mucho más duraderas y requieren menos mantenimiento para ahorrar costos a largo plazo.
5. **Aislamiento:** Algunos materiales de construcción como el acero, materiales inorgánicos que no son combustibles, se expanden cuando se calientan, lo que puede debilitar y colapsar la estructura. La madera reacciona de manera casi opuesta a esto. Cuando se calienta (no excesivamente a una temperatura combustible, por supuesto), la madera se seca y en realidad se vuelve aún más difícil. La madera también tiene una menor transferencia de calor térmico que el acero, lo que hace que una casa de madera bien diseñada pueda ser fresca en verano y cálida en invierno. Un buen diseño de vivienda permitirá ahorrar en energía y disminuirá el impacto del edificio en el medio ambiente.
6. **Impacto medioambiental:** La madera es altamente elogiada por ser respetuosa con el medio ambiente y un recurso renovable, mientras que la producción de acero es uno de los mayores contaminadores.

Existen también estudios que contrastan las emisiones de los diferentes materiales. Por ejemplo, el estudio *Energy and the Environment in Residential Construction* elaborado por The Canadian Wood Council, que incluye todas las etapas del ciclo de vida en madera, concluyó que “los diseños de estructuras de acero y hormigón armado, emiten el 34% y 81% más GEI que un diseño en madera. A su vez, estos diseños liberan un 24% y un 47% más emisiones en el aire que los construidos en madera”. Según un artículo publicado en la Escuela de Yale de Estudios Forestales y Medioambientales. De esta forma, la madera se presenta como un material que puede contribuir en gran medida a una menor HdC, reteniendo el CO₂ en todo su ciclo de vida útil (Lop, 2020).

La evolución de la construcción en madera en Chile, dado los datos del año 2017, según Estudio disponibilidad madera estructural en Chile, Infor 2020 y Estudio de costos, DECON UC Y MINVU 2019, dice que las construcciones para todos los distintos usos, la madera es el segundo material de construcción en Chile después del hormigón, para vivienda total (casas y departamentos), también cumple con el segundo lugar después del hormigón, para el caso de viviendas de hasta dos pisos, la madera es el primer material de construcción en Chile, seguido por el ladrillo, y para edificaciones no residenciales, la madera es el tercer material de construcción en Chile, después del hormigón y el metal.

Además, estudios realizados por el ministerio de vivienda y urbanismo expresan el porcentaje de viviendas construidas en madera en distintos países, siendo Canadá el mayor constructor en madera con un 95%, seguido por Estados Unidos con un 90%, Nueva Zelanda con un 70%, Australia con un 60% y seguido por Chile con un 13,9% de viviendas construidas en madera (Lop, madera21deCorma, 2021).

Por otra parte, fomentar la construcción de edificaciones en madera sobre dos pisos en Chile, como se hace en otros países, por ejemplo: los edificios internacionales en madera en altura de renombre Mjøstårnet, construido en Brumunddal, una ciudad de 10.000 habitantes al lado del lago Mjøsa, el más grande en Noruega. Este edificio, uno de los más altos construidos en madera en



el mundo, tiene 85,4 m y 18 pisos, se finalizó en marzo de 2019. Contiene unos 3500 m³ de madera, y es una torre de uso mixto con oficinas y apartamentos.

Otro ejemplo es el edificio de renombre internacional, a cargo de esta oficina de arquitectura, es HoHo Wien, situado en un área urbana del noreste de Viena (Austria). Se trata de una construcción híbrida, con un núcleo de concreto reforzado y estructura de madera. El proyecto tiene dos partes conectadas por debajo por un garaje y áreas técnicas: la baja de 13 y 23 metros de altura, y la torre de 40, 57 y 84 metros de altura. En 25000 metros cuadrados. Se utilizaron unos 4000 metros cúbicos de madera, lo que les ayudó a evitar producir unas 3000 tCO₂ (equivalente a utilizar un auto por 40 kilómetros al día durante 1300 años), ahorrando también en energía (Lop, madera21deCorma , 2021).

En Chile se está impulsando a realizar edificaciones y una de ellas construida en el sector Lomas Coloradas, comuna de San Pedro de La Paz, Biobío, Proyecto Horizontes del Pacífico de la empresa E2E, que comprende 5 edificios de 4 pisos construidos con madera. Por otra parte, en la ciudad de Linares, Región del Maule, se levantará otro proyecto en madera. Se trata de un edificio de 5 pisos, de alto estándar, enfocado en familias que opten al programa de Integración Social. También el moderno edificio corporativo de CMPC en Los Ángeles, de 5.500 m² de oficinas y otras dependencias, construido principalmente en madera; o la torre de madera de Peñuelas son otros ejemplos de experiencias nacionales de edificios.



7. CONCLUSION

A través del estudio realizado, se obtuvo que la construcción del Centro de Energía de la UCSC genera 225 tCO₂eq en todo su ciclo de vida, es por esto, que es necesario afrontar de forma rápida y eficientemente las emisiones que se generan. Si bien, para el proyecto del Centro de Energía de la UCSC es de alrededor de 400 m² de construcción, donde es necesario plantar 15.005 árboles nativos u 8 hectáreas de eucalipto para mitigar las emisiones en un año. Además, si esto se lleva a una mayor escala o a un mayor número de construcciones del mismo tipo, no serían sostenible, ya que, se necesitarían muchas hectáreas de terrenos disponibles para mitigar el CO₂ emitido. De acuerdo con esto es necesario replantear nuevas estrategias y formas constructivas.

Donde se desarrollen construcciones más eficientes aprovechando de mejor forma los espacios de construcción y no tener que renovar en algunos años más la estructura donde esto aumentaría la HdC en su ciclo de vida, o aprovechando de mejor forma los espacios diseñados, donde estos ayuden a disminuir también el gasto energético por temas de aislación, a esto hace referencia también el uso de los materiales de construcción.

Como se ha podido observar, el acero y el hormigón son algunos de los materiales que más emisiones de CO₂ emiten, estos liberan un 24% y un 47% más de emisiones en el aire que los construidos en madera, según un artículo publicado en la Escuela de Yale de Estudios Forestales y Medioambientales (Lop, madera21, 2020).

Es por esto que la madera se plantea como una buena estrategia para poder reducir la HdC, ya que la madera captura el CO₂ en todo su ciclo de vida, siendo también un material sostenible y posee grandes propiedades de aislación tanto acústica como térmica.



8. BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, F. (2019). Madera sustentable como material constructivo de edificación contra el cambio climático. Concepción: Peumo Repositorio Digital USM.
- Antonio Guerrero, Javier Muñoz, Madelyn Marrero (2016.). Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción. “Estudio de caso de un proyecto de urbanización en Écija”, España.
- Argüello Teresa, Aragüelles Beatriz, Badillo Rosa (2013). Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la construcción en México. México: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Asociación de Investigación Técnica de las industrias de la Madera, (2015) Productos estructurales y construcción en madera. www.aitim.es
- Criterios y desafíos en un contexto de cambio climático. Serie Policy Papers, CIGIDEN.
- (Dr. Roberto Pizarro. Dr. Pablo García, s.f.)
- (Héctor Acuña, 2019)
- How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain, The Guide to PAS 2050, 2011(79 pp).
- Martínez, Arenas, Bergamini y Urrea (2019). “Hacia una ley de costas en Chile:
- Ministerio de Medio Ambiente (2019). Informe Inventarios Regionales de Gases de Efecto Invernadero, Serie 1990-2016, Oficina de Cambio Climático.
- Utilización del Análisis del Ciclo de Vida en la Evaluación del Impacto ambiental del Cultivo bajo Invernadero Mediterráneo, Ma Assumpció Anton Vallejo, Tesis Doctoral, Barcelona Gener 2004.(20 pp).

9. LINKOGRAFIA

- (OBP), O. B. (s.f.). *Online Browsing Platform (OBP)*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>
- *Acciona*. (s.f.). Obtenido de cambio climatico: https://www.acciona.com/es/cambio-climatico/?_adin=02021864894
- Almada, M. (22 de agosto de 2020). *argentinaforestal*. Obtenido de <https://www.argentinaforestal.com/2020/08/22/chile-avanza-en-la-construccion-de-edificios-de-madera-que-se-destacan-por-sus-ventajas-en-sustentabilidad-y-confort/>
- *Amnistía Internacional* (s.f.). Obtenido de <https://www.amnesty.org/es/what-we-do/climate-change/>
- Bascou, C. (s.f.). *instituto de la construccion*. Obtenido de CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE Y CAMBIO CLIMÁTICO: <https://www.iconstruccion.cl/contenidos/opinion/construccion-sustentable-y-cambio-climatico>
- Bester, D. d. (s.f.). *Bester*. Obtenido de BUildin a sustainable world: <https://bester.energy/gases-de-efecto-invernadero-gei/>
- *GrowingBuildings*. (s.f.). Obtenido de Construcción y emisiones CO2 a la atmósfera: <https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/#:~:text=Cada%20tonelada%20de%20cemento%20en,de%20CO2%20a%20la%20atm%C3%B3sfera.&text=El%20sector%20de%20la%20construcci%C3%B3n,la%20contaminaci%C3%B3n%20de%20las%20aguas.>
- Héctor Acuña, P. E. (Diciembre de 2019). *camara chilena le da construccion* . Obtenido de https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Fundamenta_45.pdf
- Iñigo Lizarralde y Miguel Broto, F. C. (22 de Noviembre de 2011). *La huella de carbono en materiales de cerramientos y en las empresas fabricantes*. Obtenido de https://www.interempresas.net/Cerramientos_y_ventanas/Articulos/58206-La-huella-de-carbono-en-materiales-de-cerramientos-y-en-las-empresas-fabricantes.html
- isotools. (19 de marzo de 2015). *isotools excellence*. Obtenido de <https://www.isotools.org/2015/03/19/que-son-las-normas-iso-y-cual-es-su-finalidad/>
- Lop, R. (30 de Marzo de 2020). *madera21*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/blog/2020/03/30/materiales-y-huella-de-carbono-el-papel-de-la-madera-para-retener-las-emisiones-de-co2/>
- Lop, R. (24 de febrero de 2021). *madera21deCorma* . Obtenido de <https://www.madera21.cl/blog/2021/02/24/el-futuro-de-la-construccion-la-madera-como-material-para-edificios-en-altura-alrededor-del-mundo/>
- Madera21deCorma. (8 de febrero de 2017). *Madera21deCorma*. Obtenido de <https://www.madera21.cl/blog/2017/02/08/seis-razones-por-las-que-la-madera-es-superior-al-acero-y-al-ladrillo/>



UCSC

Simposio de Habilitación Profesional
Departamento de Ingeniería Civil
Agosto 2022

- *Ministerio del Medio Ambiente*. (s.f.). Obtenido de <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- *Responsabilidad social empresarial y sustentabilidad* . (s.f.). Obtenido de <https://www.responsabilidadsocial.net/cambio-climatico-que-es-definicion-causas-efectos-consecuencias-y-combate/>
- Rodgers, L. (17 de Diciembre de 2018). *BBC new*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>



ANEXOS:

Anexo 1: cubicación de materiales y factor de emisión de CO₂. Fuente: Elaboración propia

OBRAS GRUESA	Unidad	Cantidad	factor emisión	Unidad
Sello de fundación				
Emplantillado	m ²	155	19,6	kgco ₂ eq/m ²
Fundaciones				
Hormigón	m ³	50	296,3	kgco ₂ eq/m ³
Fierro	kg	1140	4,6	kgco ₂ eq/kg
Muros y machones				
Hormigón muros y machones	m ³	81	296,3	kgco ₂ eq/m ³
Fierro muros y machones	kg	5595	4,6	kgco ₂ eq/kg
Pilares				
Hormigón	m ³	1	296,3	kgco ₂ eq/m ³
Fierro	kg	1	4,6	
Vigas y Cadenas				
Hormigon vigas y cadenas	m ³	51	296,3	kgco ₂ eq/m ³
Fierro de vigas y cadenas	kg	5235	4,6	kgco ₂ eq/kg
Losa				
Hormigón	m ³	57	296,3	kgco ₂ eq/m ³
Fierro	kg	6615	4,6	kgco ₂ eq/kg
Muretes de H.A. rampa exterior				
Hormigon muretes de H.A.	m ³	8	296,3	kgco ₂ eq/m ³
Fierro muretes de H.A. rampas exterior	kg	535	4,6	kgco ₂ eq/kg
Muretes y gradas H.A. escala exterior				
Hormigon muretes y gradas H.A	m ³	2	296,3	kgco ₂ eq/m ³
Fierro muretes y gradas H.A. escala exterior	kg	1	4,6	kgco ₂ eq/kg



Hormigones simples y sobrelosas				
Radieres	m2	410	196,3	kgco2eq/m3
Rampas y gradas	gl	1	196,3	kgco2eq/m3
Sobrelosas y afinados	m2	375	442	kgco2eq/m3
Estructura de techumbre				
Estructura patio de servicio	m2	50	8,8	kgco2eq/m2
Estructura sobre losa	m2	380	8,8	kgco2eq/m2
Cubierta				
Panel PIT 900	m2	380	15,9	kgco2eq/m2
Plancha translúcida	m2	50	15,9	kgco2eq/m2
Aislaciones e impermeabilización				
Termica exterior EIFS	m2	425	2,5	kgco2eq/m2
Aislación de techumbre	m2	380	8,8	kgco2eq/m2
Aislación acustica de tabiques	m2	330	0,97	kgco2eq/m2
Igol Primer e Igol Denso	m2	72	0,34	kgco2eq/m2
Hojalaterías				
Canales y canaletas	ml	47	11,4	kgco2eq/ml
Forros y botaguas	ml	113	5,7	kgco2eq/ml
Mantas y sombreretes	un	5	3,2	kgco2eq/gl
Bajadas de aguas lluvias	ml	12	7,8	kgco2eq/ml
TERMINACIONES				
Revestimientos interiores				
Estucos interiores	m2	340	7,3	kgco2eq/m2
Revestimientos enchape de Mara	m2	49	2,6	kgco2eq/m2
Revestimientos cerámicos	m2	111	24,8	kgco2eq/m2
Tabiques no estructurales				
Tabiques tipo metalcom 90 mm.	m2	330	20,9	kgco2eq/m2
Tabiques aluminio - vidrio	m2	43	90,1	kgco2eq/m2
Cielos				
Cielos losas recorridas con yeso estuco	m2	108	0,6	kgco2eq/m2
Cielos falsos de yeso cartón	m2	68	2,6	kgco2eq/m2
Cielos falso tipo americano	m2	169	6,3	kgco2eq/m2
Cielo aleros	m2	25	25,1	kgco2eq/m2



Pavimentos y pisos				
Palmeta vinílica 30x30 cms.	m2	202	12,1	kgco2eq/m2
Palmeta vinílica 15x120 cms.	m2	24	12,1	kgco2eq/m2
Porcelanato	m2	11	40	kgco2eq/m2
Pavimento plataforma exterior, gradas y rampa	m2	25	9,7	kgco2eq/m2
Cubrejuntas	un	12	0,6	kgco2eq/m

Ventanas y ventanales				
Ventanal cortina	m2	157	13,8	kgco2eq/m2
Ventanas en rasgos	m2	27	13,8	kgco2eq/m2

Vidrios				
Vidrios simples	m2	1	12,4	kgco2eq/m2

Puertas				
Puertas de aluminio vidrio	un	3	11,2	kgco2eq/m2
Puertas terciadas de madera	un	14	0	kgco2eq/un

Pinturas y acabados				
Empaste	m2	505	1,7	kgco2eq/m2
Esmalte al agua	m2	846	0,4	kgco2eq/m2
Anticorrosivo	m2	50	1	kgco2eq/m2
Esmalte sintético	m2	15	0,4	kgco2eq/m2
Barniz	m2	82	1,7	kgco2eq/m2
Latex acrílico	gl	1	1,3	kgco2eq/m2