Medición y análisis de la Huella de Carbono y consumo de Energía Incorporada de los materiales de construcción de la primera etapa del Cuartel de Bomberos de la Octava Compañía de Coronel

Edgardo Andrés Roldan Mella[1], María Elisa Neubauer Rojas[2], Claudio Oyarzo Vera[3]

RESUMEN

Es una realidad que el planeta está dejando en evidencia los cambios que sufre debido al cambio climático. El Ministerio del Medio Ambiente de Chile propone objetivos para esto, uno de ellos es "minimizar el nivel de emisiones generadas y el consumo energético de las edificaciones e infraestructuras durante su ciclo de vida". En este informe se generará un cálculo de la Huella de Carbono y consumo de Energía Incorporada asociados a los materiales de construcción de una edificación pública, para posterior proponer el uso de diferentes materiales y analizar las alternativas.

Palabras claves: Cambio Climático, Gases de Efecto Invernadero, Análisis del Ciclo de Vida, Huella de Carbono, Energía Incorporada.

ABSTRACT

The planet is revealing the changes it is undergoing due to climate change. The Ministry of the Environment of Chile proposes objectives for this, one of them is "to minimize the level of emissions generated and the energy consumption of buildings and infrastructures during their life cycle". This report will generate a calculation of the Carbon Footprint and Embedded Energy consumption associated with the construction materials of a public building, to later propose the use of different materials and analyze the alternatives.

Key words: Climatic Change, Greenhouse gases, Life Cycle Análisis, Carbon Footprint, Embobied Energy.

[1] Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, UCSC, CHILE, eroldan@ing.ucsc.cl
[2] Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, CHILE, maria.neubauer@ucsc.cl
[3] Profesor Informante, Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, CHILE, coyarzov@ucsc.cl

1. INTRODUCCION

El Efecto Invernadero "es el fenómeno natural que permite a nuestro planeta mantener las condiciones necesarias para albergar vida" (acciona, s, f). Un problema es el aumento en las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). "En la atmosfera de la Tierra los principales Gases de Efecto Invernadero son el Vapor de Agua (H2O), el Dióxido de Carbono (CO2), el Óxido Nitroso (N2O), el Metano (CH4) y el Ozono (O3)" (Benavides & León, 2007). A nivel global, la industria de la construcción utiliza un 40% de los recursos naturales, consume el 40% de la energía y emite el 40% de los GEI en su ciclo completo (Contruye2025, 2019). En este contexto Martínez y Fernández (s, f) concluyeron que si las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero continúan aumentando, la temperatura de superficie del planeta mantendrá una tendencia positiva". Por lo tanto, el efecto invernadero, del que se habla mucho en las últimas décadas, debe llamarse propiamente incremento antropógeno y a su correspondiente efecto en el clima se le debe denominar calentamiento global.

Con el paso del tiempo y en consecuencia a los cambios que experimenta el planeta se ha comenzado a tomar conciencia en el cuidado ambiental, es por esto que se ha desarrollado diversas técnicas para el estudio objetivo de los procesos de productos tanto consumidos como generados. Una de estas técnicas es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Según la norma ISO 14040:2006, el ACV trata aspectos ambientales e impactos ambientales potenciales en todo el proceso de vida del producto "En los últimos años se han desarrollado varias otras herramientas de cuantificación y metodologías para determinar el nivel de emisiones de GEI de individuos, organizaciones y unidades administrativas o territoriales, y la Huella de Carbono es una de ellas" (Padgett et al., 2008). El Ministerio de Medio Ambiente define la huella de carbono como "el conjunto de emisiones de Gases de Efecto Invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO2 equivalentes". En este contexto, no solo se debe estudiar las emisiones sino también los consumos de recursos como la energía incorporada en los productos, la que se define como "aquella que directa o indirectamente se necesita tanto para producir, utilizar o desechar un producto" (Sisterne, 2021). Según Contruye2025 (2019), Chile "se propone como meta a 2040 que el 100% de la infraestructura sea sustentable y circular". En el estudio que aquí se presenta se realizó un análisis de los materiales de construcción del edificio cuartel de la Octava Compañía de Bomberos de Coronel, tanto en lo que respecta a sus emisiones generadas como en consumo de energía incorporada de estos.

2. MARCO TEORICO

Caballero (2007) define el Efecto Invernadero como a un mecanismo por el cual la atmosfera de la Tierra se calienta, desde sus inicios, hace unos 4.000 millones de años. Es un mecanismo de suma importancia para lograr que nuestro planeta sea un lugar adecuado para que la vida exista.

El sector de la construcción, según expone la publicación de Fundamenta 45, (CCHC,2019) "podría potencialmente participar en cerca de un 23% del total de emisiones de GEI del país, considerando el ciclo de vida completo de los proyectos de construcción,". "Las fases de extracción y fabricación de materiales (energía incorporada) y la fase de uso (energía operativa) del edificio son las que concentran hasta un 90% del consumo de energía y emisiones de CO2 del ciclo de vida de un edificio" (Quispe, 2016).

Carmona (2017), en su memoria, concluye que durante las últimas décadas se ha producido un crecimiento económico considerable lo que ha provocado, a la vez, que las emisiones de CO2 aumenten de manera inusitada. Se estima que ya se ha doblado o triplicado el nivel de las emisiones de CO2 desde los años 90. Durante el último tiempo el sector de la construcción también ha experimentado un crecimiento importante.

"El protocolo de Kioto (1997) pone en funcionamiento la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático comprometiendo a los países industrializados a limitar y reducir las emisiones de GEI" (UNFCCC, s, f). Una de las metodologías para la evaluación de las emisiones de CO2 y Energía Incorporada es por medio del ciclo de vida del producto. El cual fue desarrollada para comprender de una forma más exacta las emisiones y consumos de la creación de un producto o servicio a lo largo de su desarrollo. "El Análisis del Ciclo de Vida es un proceso objetivo que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía, como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y emisiones generadas, con el propósito de evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental" (Rieznik & Hernández, 2005).

Ciclo de vida

La norma ISO 14040 (2006) menciona que la creciente conciencia con respecto a la importancia de la proteccion ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar esos impactos. Una de las técnicas desarrolladas en este sentido es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV).

El ciclo de vida está regulado por dos normas internacionales UNE EN ISO 14040 “Gestión ambiental, Análisis del Ciclo de Vida, Principios y marco de referencia” y UNE EN ISO 14044 “Gestión ambiental, Análisis del Ciclo de Vida, Requisitos y directrices”.

Estas normas con entregan cuatro fases para el estudio de un ACV:

1) 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.
2) La fase de análisis del inventario del 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.
3) 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.
4) 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.

Huella de Carbono

Fernández (2020) indica que la Huella de Carbono (HdC) es un concepto que nació en Europa y que procura calcular el impacto que tiene la producción de bienes y servicios sobre el ambiente. Se trata de un indicador ambiental que expresa la cantidad de GEI que se emiten a la atmosfera por acción directa o indirecta de un individuo, organización, evento o producto. “Lo que mide la HdC es la contribución de cada una de las actividades al calentamiento global. El cálculo de la HdC es la primera

medida para actuar frente al cambio climático, porque sólo se puede actuar sobre lo que se ha medido previamente" (Vidal,2020).

El cálculo de la HdC puede ser abordado desde diferentes enfoques, los cuales los describe el Ministerio de Medio Ambiente (Huella de Carbono, s, f) como:

a) Enfoque corporativo
b) Enfoque del ciclo de vida de un producto
c) Enfoque personal
d) Enfoque de eventos
e) Enfoque territorial
f) Enfoques específicos por industria

El Ministerio de Medio Ambiente (Huella de Carbono, s.f.) expone que, si bien la huella de carbono 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:

- Análisis del estado inicial
- Cuantificación de la huella de carbono
- Análisis de riesgos y oportunidades
- Plan de mitigación
- Comunicar

El objetivo de medir la HdC será, Cuantificar las emisiones de GEI de toda la organización e identificar posibilidades de mejorar la eficiencia, determinar el impacto total de las operaciones, identificar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero, identificar estrategias para reducir costos de operación y disminuir la cantidad de emisiones generadas. (Huella de Carbono/PAS2050, n d).

Energía Incorporada

En el informe de Vázquez y Salmerón (2016), se indica que los edificios de energía casi nula consideran la energía utilizada en climatización, iluminación y suministro de agua caliente sanitaria. No obstante, obvian un parámetro importante como lo es la Energía Incorporada. Que es la energía total consumida para la construcción de un edificio. Esto quiere decir que tiene en cuenta la energía que se ha empleado en los procesos de fabricación y transporte de los materiales para la construcción de dicho edificio. Así como, la energía que ha sido utilizada por la maquinaria en la ejecución de la obra.

Según la publicación de la Comisión Europea "el concepto se refiere a la suma total de la energía necesaria para obtener determinado material, desde su fuente hasta su elaboración" (Materiales nuevos para reducir la Energía Incorporada de los edificios, 2015).

Cabeza (2013) nos sugiere que la energía incorporada es un método de contabilidad que tiene como objetivo encontrar la suma total de la energía necesaria para todo el ciclo de vida del producto . Determinar qué constituye este ciclo de vida incluye evaluar la relevancia y el alcance de la energía en la extracción, transporte , fabricación , montaje, instalación, desmontaje, deconstrucción y/o descomposición de materias primas, así como en los recursos humanos y secundarios. Para así ayudar a disminuir el uso de energía así también su cambio a uso de energía renovables. La Energía Incorporada de materiales de construcción depende del proceso de fabricación, la disponibilidad de materia prima en los alrededores, la eficiencia de la producción, y la cantidad de material utilizado en la construcción real.

Según lo publicado por Isla et al (2014) en el análisis del ciclo de vida ha tenido en cuenta y se debe estudiar las siguientes fases y sub-fases:

- Fabricación
  - Extracción
  - Transporte a fabrica
  - Proceso de fabricación
  - Embalaje

- Transporte
  - Transporte del producto al lugar de construcción

- Puesta en obra
  - Maquinaria
  - Mano de obra
  - Medios auxiliares

El objetivo del estudio que se presenta en este articulo es calcular la Huella de Carbono y Energía Incorporada asociada a los materiales de construcción de la primera etapa del cuartel de la Octava Compañía de Bomberos de Coronel.

Para esto, inicialmente, se calculó la Huella de Carbono emitida por los materiales de construcción de obra gruesa y terminaciones utilizados en la construcción de la primera etapa del cuartel de la Octava Compañía de Bomberos de Coronel. Luego se calculó la Energía Incorporada asociada a los materiales utilizados en la obra gruesa en la primera etapa del cuartel de la Octava Compañía de Bomberos de Coronel. Se identificó los materiales de construcción con las mayores emisiones de Huella de Carbono y consumo de Energía Incorporada. Y finalmente, se hace una propuesta de materiales para disminuir las emisiones de Huella de Carbono y la cantidad de Energía Incorporada utilizada.

3. METODOLOGIA

Alcance

El proyecto que se evaluará corresponde a la primera etapa del cuartel de la Octava Compañía de Bomberos de Coronel, el cual esta ubicado en Calle las Revueltas #1840, población Bernardo O'Higgins, Ciudad de Coronel, VIII Región del Bio Bio, Chile. La estructura consta de un sector de dos niveles en donde alberga oficinas, salas de estar y dormitorios más una sala de máquinas.

Figura 1: Vista aérea de la ubicación de la estructura en estudio**.** Fuente: Google Earth.

Al proyecto, se le realizará un análisis de sus materiales de construcción, calculando cuál será su emisión de HdC y Energía Incorporada. Para esto se revisará la contabilización de sus materiales necesarios para la construcción (cubicación), los cuales estarán clasificados en obra gruesa y terminaciones.

Ciclo de vida del producto

El ACV permitirá identificar y cuantificar los consumos de materiales y energía, así como también las emisiones generadas en el desarrollo de un producto o actividad. Para lo cual se basará en las fases que detalla la Norma ISO 14040:2006. La que nos detalla que existen cuatro fases en un estudio de ACV.

a) Fase de definición del objetivo y alcance
b) Fase de análisis del inventario
c) Fase de evaluación del impacto ambiental
d) Fase de interpretación

3.1. Cálculo de la Huella de Carbono

Para el desarrollo del cálculo de la Huella de Carbono se utilizará el enfoque del ciclo de vida de un producto o servicio. Existen diversas metodologías para realizar la medición de la HdC, una de las cuales que está reconocida a nivel internacional es la establecida por medio de las Normas PAS 2050:2011 "Especificaciones para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de GEI de bienes y servicios" y la Norma PAS 2060:2010 "Especificaciones para la demostración de la neutralidad de carbono". Ambas normas creadas por la British Standad Institution (BSI) y el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) "Contabilidad e informes del ciclo de vida del producto"

Según la publicación del Ministerio del Medio Ambiente y Reinoso (2016) Independiente de la herramienta que se utilice, es necesario evaluar el ciclo de vida del producto o servicio considerando los siguientes requerimientos:

- **Establecer el alcance del inventario:** se debe definir y acotar el inventario del producto o servicio seleccionado. Es decir, escoger y conocer adecuadamente el producto que se va a evaluar.
- **Definir los límites del producto:** identificar los procesos a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio. Por lo tanto, definir las etapas del ciclo de vida y los procesos que tributan ante este.
- **Asignación de emisiones (prorrateo):** en estos casos, serán asignadas las emisiones producidas por el proceso en la cantidad de productos distintos que se generen.
- **Cálculo de emisiones:** calculo para estimar las emisiones de GEI, dependiendo del tipo de proceso y las asignaciones correspondientes.

Pasos a seguir

a) **Revisión de las cantidades de materiales**: la primera etapa consistirá en una revisión de las cubicaciones (Tabla 1 y 2), de donde se extraerán las cantidades de los distintos materiales que fueron utilizados en la construcción del proyecto, clasificándolos en obra gruesa y terminaciones. En esta etapa no se considerarán materiales de instalaciones eléctricas o sanitarias.

b) **Definición de factores de emisión**: en la segunda etapa, posterior a la revisión se identificarán los factores de emisión GEI, tabulados en las Tablas 1 y 2, asociándolos a cada material seleccionado para el estudio. En los factores de emisión, no se considerarán los correspondientes a mano de obra.

c) **Cálculo CO2 Equivalente**: una vez completadas las etapas anteriores, se realizará la estimación de emisiones. En donde se multiplicará (Ec.1) el dato de la actividad (cubicación) la cual es la medida cuantitativa de la actividad que está produciendo una emisión por un factor de emisión, este último factor es el que relaciona las actividades con las emisiones de GEI.

$$Emision\ de\ GEI = Dato\ de\ la\ actividad\ x\ Factor\ de\ emisión \quad Ec\ 1$$

Donde Dato de la actividad es la cantidad de material y el Factor de emisión es el valor de conversión de cada material en CO_2 equivalente.

d) **Estimación Huella de Carbono total**: En este último paso se generará una sumatoria de todos los valores de emisiones obtenidos (Para cada material) y así llegar a un valor total de todo el análisis de la estructura.

3.2. Cálculo de la Energía Incorporada

Para el desarrollo del cálculo de la Energía Incorporada, se deberá primero centrar en el Análisis del Ciclo de Vida del producto. El que ayuda a poder identificar los procesos por los cuales se ha debido enfrentar la materia prima hasta llegar a ser el material de construcción, ya que en algunos casos no se hacen evidentes procesos hasta que se analiza este ciclo. En su tesis, Carmona (2010) expone que, para entender de mejor manera los estudios relacionados con la cuantificación del consumo energético en los edificios de altura, se debe entender primero los puntos de aplicación en que éstos se basan y los parámetros que involucran. En primer lugar, tenemos la Energía Incorporada Inicial (Initial Embodied Energy), que representa la energía no renovable consumida en la adquisición de materias primas, su procesamiento, su fabricación, su transporte a obra y la construcción propiamente tal. Esta energía tiene dos componentes, la directa y la indirecta. La primera se refiere a la energía usada para transportar los insumos a la obra, y luego construir el edificio; y la segunda, se refiere a la energía usada para obtener, procesar y fabricar los insumos de construcción, incluyendo todos los transportes relacionados con estas actividades.

Pasos a seguir

a) **Revisión de las cantidades de materiales**: la primera etapa consistirá en una revisión de las cubicaciones (Tabla 1), de donde se extraerán las cantidades de los distintos materiales que fueron utilizados en la construcción del proyecto. En esta etapa se tendrán las siguientes consideraciones: solo se analizarán los materiales categorizados como obra gruesa y no se considerarán materiales de instalaciones eléctricas o sanitarias.

b) **Definición de factores de energía**: en la segunda etapa y posterior a la revisión se identificarán los factores de energía, tabulados en la Tabla 1 y asociándolos a cada material seleccionado para el estudio. En los factores, no se considerarán los correspondientes a mano de obra o maquinaria necesaria anexa para su instalación.

c) **Cálculo energía**: una vez completadas las etapas anteriores, se realizará la estimación de la energía consumida por cada material. En donde se multiplicará (Ec.2) el dato de la actividad (cubicación) por el factor de Energía Incorporada, este último factor es el que relaciona las actividades con la energía necesaria consumida en su producción.

$$Energia\ Incorporada = Dato\ de\ la\ actividad\ x\ Factor\ de\ energia \quad Ec.2$$

Donde Dato de la actividad es la cantidad de material y el Factor de energía corresponde al valor de conversión de cada material.

d) **Estimación energía total**: En este último paso se generará una sumatoria de todos los valores de obtenidos (para cada material) y así llegar a un valor total de todo el análisis.

3.3. Identificar los materiales de construcción con las mayores emisiones.

Posterior al calculo de la Huella de Carbono y la Energía Incorporada, se iniciará una revisión de los resultados obtenidos, los que serán tabulados y mostrados en gráficos. Con esto se buscará detallar cuáles serán los componentes que mayores emisiones y consumos presentan.

3.4. Propuesta de materiales para disminuir las emisiones de Huella de Carbono y la cantidad de Energía Incorporada utilizada.

Con las comparaciones de la etapa anterior (5.3), se identificarán los materiales con mayores emisiones y consumos. Con lo cual se propondrán modificaciones y se generara un nuevo cálculo, buscando observar si existen variaciones en los resultados obtenidos en las etapas anteriores.

3.5. Materiales

Para la obtención de los valores de HdC y Energía Incorporada, debido a que no se encontró un estudio en donde se concentrará la totalidad de los materiales que se utilizaran en el cálculo. Se generó una recopilación de valores expuestos por diferentes autores (Muñoz, 2020; Fernández, 2020) A continuación, se presentan las Tabla 1 y 2 en donde se muestran los factores que se utilizarán.

Tabla 1: Materiales de obra gruesa con sus respectivos factores de HdC y Energía Incorporada.

N°	Material	Unidad	Cantidad	Factor HdC (Kg CO2eq)	Factor de energía (MJ)
1.1	**Fundación y Radier**				
1.1.1	Cimiento y Sobrecimiento	m3	40,78	296,5	3,18
1.1.2	Emplantillado	m2	101,75	196,3	2,78
1.1.3	Base de pavimentos	m3	213,7	196,3	2,78
1.1.4	Polietileno	m2	235,66	1,7	75
1.1.5	Enfierradura de cimientos y sobrecimientos	kg	1621,3	8,89	192
1.1.6	Radier cuartel	m3	44,535	296,5	3,18
1.1.7	Radier sala de máquinas	m3	26,16	296,5	3,18
1.2	**Muros, vigas, pilares y losas**				
1.2.1	Albañilería	m2	95,87	29,15	2,9
1.2.2	Hormigón vigas, pilares y losas	m3	41,1	296,5	3,18
1.2.3	Enfierradura vigas, pilares y losas	kg	7884,43	8,89	192
1.2.4	Moldajes	m2	464,89	1,4	8
1.2.5	Tabiquería	m2	152,41	-1,79	15
1.2.6	Afinado de losas	m2	21	20	2,78
1.3	**Estructura cubierta**				
1.3.1	Canales y bajadas de agua	ml	29	11,4	177
1.3.2	Cerchas Metalcom	m2	126,5	20,9	318,6
1.3.3	Placas OSB	m2	213,22	1,4	8
1.3.4	Fieltro	m2	213,22	6,5	10
1.3.5	Cubierta insta panel	m2	213,22	3,2	252
1.4	**Escalera**				

1.4.1	Hormigón escalera	m3	2,22	296,5	3,18
1.4.2	Enfierradura escalera	kg	73,32	8,89	192
1.4.3	Moldajes escalera	m2	18,38	1,4	8

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Materiales de obra terminaciones con sus respectivos factores de HdC.

N°	Material	Unidad	Cantidad	Factor HdC (Kg CO2eq)
2.1	**Revestimiento de muros**			
2.1.1	Estuco exterior	m2	314,79	0,23
2.1.2	Estucos interiores	m2	457,31	0,23
2.1.3	Plancha Volcanita 1° piso	m2	105,28	3,8
2.1.4	Plancha Volcanita 2° piso	m2	203,89	3,8
2.1.5	Cerámico	m2	198,39	2,258
2.2	**Revestimiento de cielo**			
2.2.1	Plancha Volcanita cielo 1° piso	m2	29,98	3,8
2.2.2	Plancha Volcanita cielo 2° piso	m2	183,49	3,8
2.3	**Terminaciones de piso**			
2.3.1	Cerámico	m2	242,57	2,258
2.3.2	Guardapolvo madera	ml	260,76	-1,53
2.4	**Puertas**			
2.4.1	Puertas interiores	un	17	-1,53
2.4.2	Marco puertas interior	un	17	-1,53
2.5	**Ventanas**			
2.5.1	Ventanas	un	18	13,8
2.6	**Pinturas**			
2.6.1	Oleo brillante	m2	457,31	2,212
2.6.2	Oleo opaco	m2	314,79	2,212
2.6.3	Látex	m2	226,3	1,3
2.7	**Aislaciones**			
2.7.1	Aislación tabiques lana de vidrio	m2	152,41	1,387
2.7.2	Aislación cubierta lana de vidrio	m2	222,85	1,387

Fuente: Elaboración propia.

4. RESULTADOS

4.1. Huella de Carbono

Tabla 3: Resultados de CO2 equivalente de los materiales de obra gruesa.

N°	Material	Unidad	Cantidad	Kg CO2 eq
1.1	**Fundación y Radier**			
1.1.1	Cimiento y sobrecimiento	m3	40,78	12091,3
1.1.2	Emplantillado	m2	101,75	19973,5
1.1.3	Base de pavimentos	m3	213,7	41949,3
1.1.4	Polietileno	m2	235,66	400,6
1.1.5	Enfierradura de cimientos y sobrecimientos	kg	1621,3	14413,4
1.1.6	Radier cuartel	m3	44,535	13204,6
1.1.7	Radier sala de maquinas	m3	26,16	7756,4
1.2	**Muros, vigas, pilares y losas**			
1.2.1	Albañilería	m2	95,87	2794,6
1.2.2	Hormigón vigas, pilares y losas	m3	41,1	12186,2
1.2.3	Enfierradura vigas, pilares y losas	kg	7884,43	70092,6
1.2.4	Moldajes	m2	464,89	650,8
1.2.5	Tabiquería	m2	152,41	-272,8
1.2.6	Afinado de losas	m2	21	420,0
1.3	**Estructura cubierta**			
1.3.1	Canales y bajadas de agua	ml	29	330,6
1.3.2	Cerchas Metalcom	m2	126,5	2643,9
1.3.3	Placas OSB	m2	213,22	298,5
1.3.4	Fieltro	m2	213,22	1385,9
1.3.5	Cubierta insta panel	m2	213,22	682,3
1.4	**Escalera**			
1.4.1	Hormigón escalera	m3	2,22	658,2
1.4.2	Enfierradura escalera	kg	73,32	651,8
1.4.3	Moldajes escalera	m2	18,38	25,7
Total emisiones obra gruesa		kgCO2 eq		202.337

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3, se observan los valores de CO2eq para la sección de Obra Gruesa, en la cual se obtuvo un resultado total de 202.337 Kg CO2eq. Lo que abarca el 97,4% del total de Huella de Carbono de la obra completa.

Tabla 4: Resultados de CO2 equivalente de los materiales de terminaciones.

N°	Material	Unidad	Cantidad	Kg CO2 eq
2.1	**Revestimiento de muros**			
2.1.1	Estuco exterior	m2	314,79	72,4
2.1.2	Estucos interiores	m2	457,31	105,2
2.1.3	Plancha Volcanita 1° piso	m2	105,28	400,1
2.1.4	Plancha Volcanita 2° piso	m2	203,89	774,8
2.1.5	Cerámico	m2	198,39	448,0
2.2	**Revestimiento de cielo**			
2.2.1	Plancha Volcanita cielo 1° piso	m2	29,98	113,9
2.2.2	Plancha Volcanita cielo 2° piso	m2	183,49	697,3
2.3	**Terminaciones de piso**			
2.3.1	Cerámico	m2	242,57	547,7
2.3.2	Guardapolvo madera	ml	260,76	-399,0
2.4	**Puertas**			
2.4.1	Puertas interiores	un	17	-26,0
2.4.2	Marco puertas interior	un	17	-26,0
2.5	**Ventanas**			
2.5.1	Ventanas	un	18	248,4
2.6	**Pinturas**			
2.6.1	Oleo brillante	m2	457,31	1011,6
2.6.2	Oleo opaco	m2	314,79	696,3
2.6.3	Látex	m2	226,3	294,2
2.7	**Aislaciones**			
2.7.1	Aislación tabiques lana de vidrio	m2	152,41	211,4
2.7.2	Aislación cubierta lana de vidrio	m2	222,85	309,1
Total emisiones terminaciones		kgCO2 eq		5.479

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4, se observa los valores de emisiones para la sección de terminaciones, sumando en total 5479,3 kg de CO2eq. Esta última sección alcanza el 2,6% del total de HdC de la obra completa.

4.2. Energía Incorporada

Tabla 5: Resultados de Energía incorporada de los materiales de obra gruesa.

N°	Material	Unidad	Cantidad	Energía MJ
1.1	**Fundación y Radier**			
1.1.1	Cimiento y sobrecimiento	m3	40,78	129,7
1.1.2	Emplantillado	m2	101,75	282,9
1.1.3	Base de pavimentos	m3	213,7	594,1
1.1.4	Polietileno	m2	235,66	17674,5
1.1.5	Enfierradura de cimientos y sobrecimientos	kg	1621,3	311289,6
1.1.6	Radier cuartel	m3	148,46	472,1
1.1.7	Radier sala de maquinas	m3	87,2	277,3
1.2	**Muros, vigas, pilares y losas**			
1.2.1	Albañilería	m2	113,5	329,2
1.2.2	Hormigón vigas, pilares y losas	m3	41,1	130,7
1.2.3	Enfierradura vigas, pilares y losas	kg	7884,43	1513810,6
1.2.4	Moldajes	m2	464,89	3719,1
1.2.5	Tabiquería	m2	152,41	2286,2
1.2.6	Afinado de losas	m2	21	58,4
1.3	**Estructura cubierta**			
1.3.1	Canales y bajadas de agua	ml	29	5133,0
1.3.2	Cerchas Metalcom	m2	126,5	40302,9
1.3.3	Placas OSB	m2	213,22	1705,8
1.3.4	Fieltro	m2	213,22	2132,2
1.3.5	Cubierta insta panel	m2	213,22	53731,4
1.4	**Escalera**			
1.4.1	Hormigón escalera	m3	2,22	7,1
1.4.2	Enfierradura escalera	kg	73,32	14077,4
1.4.3	Moldajes escalera	m2	18,38	147,0
Total Energía Incorporada		MJ		1.968.291

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se observa los valores de Energía Incorporada calculada para la sección de Obra Gruesa sumando en tota l.968.291 MJ, en donde las partidas que mayores emisiones aportan son “Muros, vigas, pilares y losas” y “fundación, Radier” referente a los materiales de Hormigón y Fierro. En

donde estas dos partidas abarcan el 94% del total de la energía calculada para la obra gruesa de la obra.

4.3. Análisis de materiales con mayores emisiones y consumo

Debido que la sección de obra gruesa es el mayor porcentaje de la Huella de Carbono (Tabla 6 y Figura 2) calculada (97,4%), el análisis de los materiales con mayores emisiones se centrara en esta sección.

Tabla 6: Materiales con mayores emisiones por categoría en obra gruesa.

N°	**Material**	**Emisión Kg CO2 eq**
1.1	**Fundación y Radier**	
1.1.3	Base de pavimentos	41949,3
1.2	**Muros, vigas, pilares y losas**	
1.2.3	Enfierradura vigas, pilares y losas	70092,6
1.3	**Estructura cubierta**	
1.3.2	Cerchas Metalcom	2643,9
1.4	**Escalera**	
1.4.1	Hormigón escalera	658,2

Fuente: Elaboración propia.

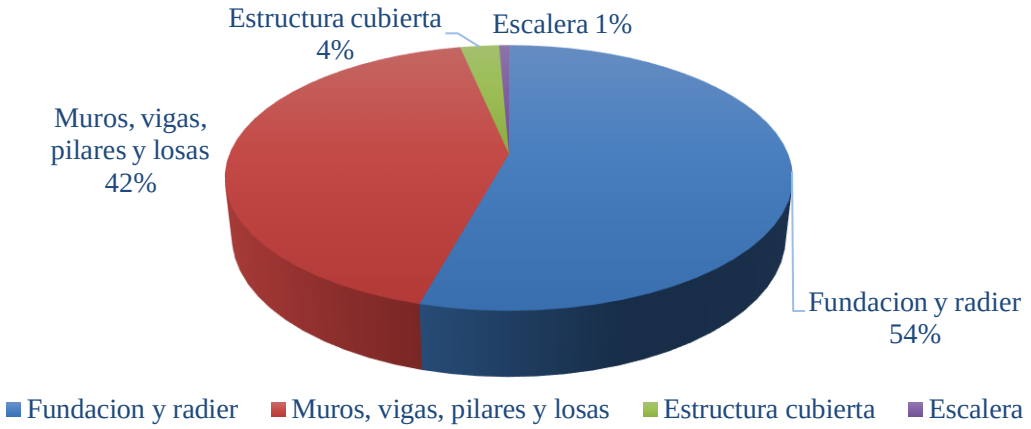

Figura 2: Materiales de obra gruesa con mayores emisiones. Fuente: Elaboración propia.

De las partidas con mayor consumo de energía (Tabla 7 y Figura 3) se encuentran los materiales de Hormigones (17%) y Enfierraduras (77%). En este cálculo de energía se muestra una variación mayor entre los materiales con mayores emisiones a diferencia de la Huella de Carbono. Especificando que el material que mayor energía consume es el fierro.

Tabla 7: Materiales con mayor consumo de Energía Incorporada en obra gruesa.

	Material	**consumo MJ**
1.1	**Fundación y Radier**	
1.1.5	Enfierradura de cimientos y sobrecimientos	311289,6
1.2	**Muros, vigas, pilares y losas**	
1.2.3	Enfierradura vigas, pilares y losas	1513810,6
1.3	**Estructura cubierta**	
1.3.5	Cubierta insta panel	53731,4
1.4	**Escalera**	
1.4.2	Enfierradura escalera	14077,44

Fuente: Elaboración propia.

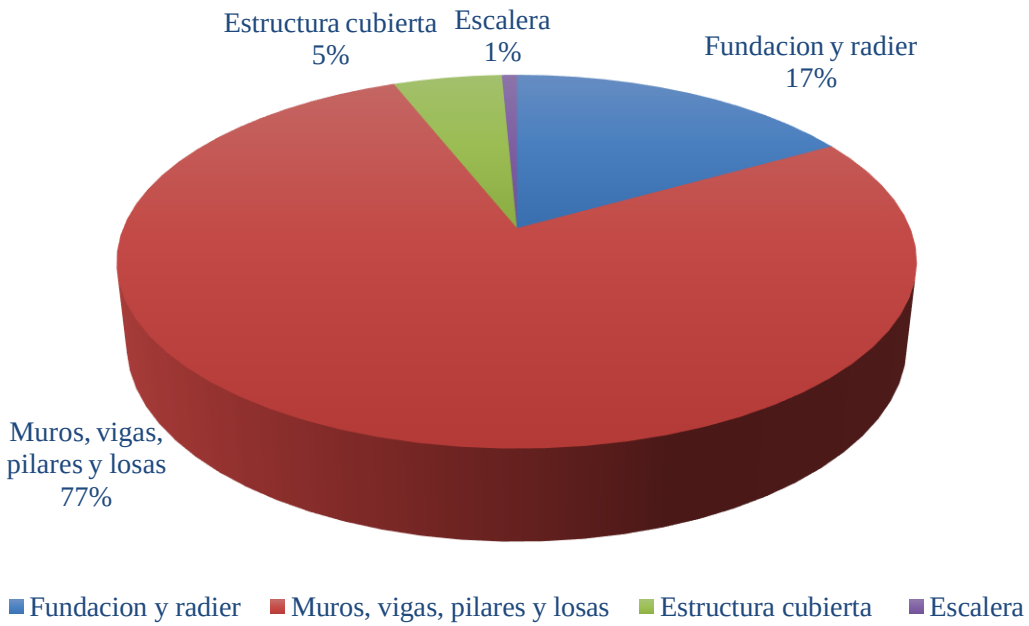

Figura 3: Materiales de obra gruesa con mayores consumos de energía. Fuente: Elaboración propia.

4.4. Cálculo de Huella de Carbono y Energía Incorporada con nueva propuesta de materiales.

Como se observó en los resultados anteriores (Figura 2 y 3), los materiales con mayor emisión de CO2 y consumo de energía son los hormigones y enfierraduras por lo que las propuestas que se entregan se centran en estos materiales, ya que al representar un mayor porcentaje su modificación generará una mayor variación y a la vez será más representativo.

En el cambio de materiales se encontró la propuesta de trabajar con materiales reciclados como barras de refuerzo reciclada, la cual a diferencia de la no reciclada (8,89 CO2 eq) posee una emisión de 0,767 CO2 eq, otra modificación fue el cambio de trabajar con Metalcom por madera. Con esta variación se observa que los valores presentan una disminución de 39% en las emisiones.

4.4.1. Cálculo de Huella de carbono en obra gruesa

Con el paso a materiales reciclados, como lo es el acero (refundido) se observa que las emisiones disminuyeron en un 40%.

Tabla 8: Materiales con sus emisiones en obra gruesa.

N°	Material	Unidad	Cantidad	Factor HdC Kg CO2eq	Kg CO2 eq
1.1	**Fundación y Radier**				
1.1.1	Cimiento y sobrecimiento	m3	40,78	296,5	12091,3
1.1.2	Emplantillado	m2	101,75	196,3	19973,5
1.1.3	Base de pavimentos	m3	213,7	196,3	41949,3
1.1.4	Polietileno	m2	235,66	1,7	400,6
1.1.5	Enfierradura de cimientos y sobrecimientos	kg	1621,3	0,767	1243,5
1.1.6	Radier cuartel	m3	44,535	296,5	13204,6
1.1.7	Radier sala de maquinas	m3	26,16	296,5	7756,4
1.2	**Muros, vigas, pilares y losas**				
1.2.1	Albañilería	m2	95,87	29,15	2794,6
1.2.2	Hormigón vigas, pilares y losas	m3	41,1	296,5	12186,2
1.2.3	Enfierradura vigas, pilares y losas	kg	7884,43	0,767	6047,4
1.2.4	Moldajes	m2	464,89	1,4	650,8
1.2.5	Tabiquería	m2	152,41	-1,79	-272,8
1.2.6	Afinado de losas	m2	21	20	420,0
1.3	**Estructura cubierta**				
1.3.1	Canales y bajadas de agua	ml	29	11,4	330,6
1.3.2	Cerchas madera	m2	126,5	-1,79	-226,4
1.3.3	Placas OSB	m2	213,22	1,4	298,5
1.3.4	Fieltro	m2	213,22	6,5	1385,9
1.3.5	Cubierta insta panel	m2	213,22	3,2	682,3
1.4	**Escalera**				
1.4.1	Hormigón escalera	m3	2,22	296,5	658,2
1.4.2	Enfierradura escalera	kg	73,32	0,767	56,2
1.4.3	Moldajes escalera	m2	18,38	1,4	25,7
Total emisiones obra gruesa		Kg CO2 eq			121.656

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Cálculo de Energía Incorporada.

Con la modificación de los materiales propuestos se evidenció que el consumo de Energía Incorporada presento una disminución del 68%.

Tabla 9: Materiales con mayor consumo de energía en obra gruesa.

N°	Material	Unidad	Cantidad	Factor energía MJ	Energía MJ
1.1	**Fundación y Radier**				
1.1.1	Cimiento y sobrecimiento	m3	40,78	3,18	129,7
1.1.2	Emplantillado	m2	101,75	2,78	282,9
1.1.3	Base de pavimentos	m3	213,7	2,78	594,1
1.1.4	Polietileno	m2	235,66	75	17674,5
1.1.5	Enfierradura de cimientos y sobrecimientos	kg	1621,3	56	90792,8
1.1.6	Radier cuartel	m3	148,46	3,18	472,1
1.1.7	Radier sala de maquinas	m3	87,2	3,18	277,3
1.2	**Muros, vigas, pilares y losas**				
1.2.1	Albañilería	m2	113,5	2,9	329,2
1.2.2	Hormigón vigas, pilares y losas	m3	41,1	3,18	130,7
1.2.3	Enfierradura vigas, pilares y losas	kg	7884,43	56	441528,1
1.2.4	Moldajes	m2	464,89	8	3719,1
1.2.5	Tabiquería	m2	152,41	15	2286,2
1.2.6	Afinado de losas	m2	21	2,78	58,4
1.3	**Estructura cubierta**				
1.3.1	Canales y bajadas de agua	ml	29	177	5133,0
1.3.2	Cerchas madera	m2	126,5	15	1897,5
1.3.3	Placas OSB	m2	213,22	8	1705,8
1.3.4	Fieltro	m2	213,22	10	2132,2
1.3.5	Cubierta insta panel	m2	213,22	252	53731,4
1.4	**Escalera**				
1.4.1	Hormigón escalera	m3	2,22	3,18	7,1
1.4.2	Enfierradura escalera	kg	73,32	56	4105,9
1.4.3	Moldajes escalera	m2	18,38	8	147,0
Total Energía Incorporada		MJ			627.135

Fuente: Elaboración propia.

5. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, se observa que los materiales con mayores emisiones de CO2 y consumo de energía se encuentran en la obra gruesa de la edificación, en donde se encuentran el hormigón y el acero (enfierradura). Por su parte el hormigón libera 296.3 kgCO2 eq y su principal componente es el cemento. Según nos expone Ovacen (s, f) "Cada año se producen más de 4.000 millones de toneladas de cemento, lo que representa alrededor del 8% de las emisiones mundiales de CO2". este es el principal material utilizado para la construcción de viviendas y un gran generador de GEI, por lo cual se debe comenzar a trabajar con materiales alternativos. En este contexto un material que encontramos es la madera. Este es un recurso natural renovable, por lo que presenta un factor de emisiones negativas (-1,79 kgCO2) ayudando en la disminución de la huella de carbono. Ya que según publica Madera21 (2020), "mientras exista madera, el carbono se captura y no se libera a la atmosfera. Un ejemplo de que es posible incorporar este material en mayor cantidad a las construcciones de diferentes niveles, es el proyecto Horizonte del Pacifico, ubicado en la comuna de San Pedro de la Paz, como nos indica Madera21 (2020) "se trata del primer conjunto de edificios íntegramente construidos en madera en Chile con sistema industrializado de paneles".

Una forma de disminuir la energía utilizada al igual que la Huella de Carbono y como quedo en evidencia con los resultados obtenidos en el análisis la utilización de materiales reciclados. Ya que en cuanto a la enfierradura utilizar barras refundidas disminuiremos su factor desde 192 MJ a 56 MJ. Con lo cual, realizando el cambio mencionado se podrá disminuir de 1.968.291 MJ (tabla N° 05) a 627.135 (tabla N° 09), experimentando una baja de aproximadamente 68% de energía incorporada en la construcción en estudio. En cuanto a la Huella de Carbono el cambio generó una disminución del 40% de emisiones. Metalhub (2020) indicó "el acero puede ser fácilmente refundido y reciclado. La tasa global de reciclaje en 2014 fue del 86%" también expone que "la producción del acero es un proceso que consume energía, pero también es un material altamente reciclable" con lo cual queda en evidencia que su reutilización ayuda en la disminución del uso de energía.

6. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede concluir que el material que mas emisiones genera es el hormigón, lo sigue las enfierraduras.

La madera y materiales reciclados, refundidos en el caso del acero de refuerzo, ayudan en la disminución de emisiones y consumo de energía.

La construcción en análisis presenta una huella de carbono aproximadamente de 649 kg CO2 eq por metro cuadrado construido, lo cual se reduce a 397 kg CO2.

La obra gruesa en estudio consume aproximadamente 6.150 MJ por metro cuadrado construido, lo cual se reduce a 1959 MJ.

Con lo expuesto en el análisis realizado, como país y a nivel internacional se debe seleccionar de mejor manera los materiales que utilizaremos, esto debe ser en conjunto con un análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero y energía, para así poder contrarrestar el cambio climático.

Además, es necesario encaminar a la construcción hacia la sustentabilidad, incorporando materiales reciclados o renovables, ya que como se observa en el proyecto Horizonte del Pacifico, agregar la madera en edificios es posible.

No solo en la construcción se debe realizar optimizaciones de los métodos empleados, sino también en los procesos de la creación de los materiales de construcción.

7. REFERENCIA

Arquima. (2018). Que es la eficiencia energética en la construcción de edificios y viviendas. Recuperado de https://shorturl.at/fACM9

Benavides, H., & León, G. (2007, diciembre). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático (Nº 008). Recuperado de https://shorturl.at/oqQZ6

Briones, A., Oliva, I., & Ramírez, K. (2020). Industria del cemento en Chile: CBB y su mirada al futuro. CBB.

Cámara Chilena de la Construcción, CCHC. (2019). El sector de la construcción ante el desafío climático global, Fundamenta (Nº 45). Recuperado de https://shorturl.at/tyGQV

De Isla, A., Macho, E., & Plaza, F. (2014). Mas allá del edificio de consumo de energía casi nulo. Construible.es. Recuperado de https://www.construible.es/comunicaciones/mas-alla-edificio-consumo-energia-casi-nulo-hallando-huella-carbono-edificio

Escuela de Organización Industrial de España. (2008). Análisis de ciclo de vida, herramienta de gestión ambiental. EOI.

F Carmona. (2010). Estimación de la energía consumida en la construcción de obra gruesa de 3 edificios de altura media. Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/uchile/2010/cf-carmona_fa/Amont/cf-pdf

Fernández, J. (2020). Uso de la madera como material sustentable en proceso en procesos constructivos: comparación de Huella de Carbono de una vivienda de madera y una de hormigón armado (Tesis de pregrado). Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Gramaconsultores, (2014). Energía incorporada. Recuperado de https://gramaconsultores.wordpress.com/2014/01/22/energia-incorporada/

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático, (2013). Cambio climático 2013 bases físicas. Recuperado de https://shorturl.at/mrJOU

ISO 14040. (2006). https://shorturl.at/rNPU1

ISO 14044. (2006). https://shorturl.at/rNPU1

Madera21. (2020). Construir con madera es la última tecnología de captura de carbono. Recuperado de https://www.madera21.cl/blog/2020/12/10/construir-con-madera-es-la-ultima-tecnologia-de-captura-de-carbono/#:~:text=A%20medida%20que%C3%A1rboles,negativa%2C%20co%B3n

Mendoza, H. (2011). Influencia del calentamiento global en la salud humana. Recuperado de https://shorturl.at/rvSV1

Metalshub. (2020). Sostenibilidad en la producción de acero. Recuperado de https://www.metals-hub.com/es/blog/sustainability-in-steel-production/

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Plan de acción nacional de cambio climático 2017–2022. Recuperado de https://shorturl.at/xyFLV

Ministerio del Medio Ambiente. (s. f.). Huella de Carbono. Recuperado de https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/

Ministerio del Medio Ambiente, & Reinoso, A. (2016). Antecedentes conceptuales para el cálculo de la huella de carbono. Recuperado de http://www.ifop.cl/wp-content/contenidos/upl/Huella-de-Carbono-en-.pdf

Muñoz, J. (2020). 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. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Nacional Geographic (s. f.). ¿Qué es el calentamiento global? Recuperado de https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global

Organización Meteorológica Mundial, OMM. (2016). La OMM confirma que los últimos cuatro años han sido los más cálidos desde que se tienen registros. Recuperado de https://shorturl.at/drzH1

OVACEN. (s. f.). El hormigón: El material más destructivo de la tierra. ovacen.com. Recuperado de https://ovacen.com/hormigon-material-destructivo-tierra/

Sostenibilidad, (s. f.) ¿Qué es el efecto invernadero? Recuperado de https://shorturl.at/cdBJW